



Universidade do Minho

Mestrado em Projecto e Fabrico de Moldes



*Estudo da Aplicação de Termoplásticos no
desenvolvimento de Produtos de elevado
desempenho Térmico*

Mestrando: EngºCarlos Filipe Mendonça Santos
Orientador: Doutor Júlio C.Viana (Prof.Auxiliar do Departamento de Engenharia de
Polímeros,Universidade do Minho)

“Razões fortes originam acções fortes.”

(William Shakespeare)

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas os intervenientes neste projecto que de uma forma ou de outra ajudaram a que este trabalho fosse possível.

UNIVERSIDADE DO MINHO – Dr.Júlio Viana – Orientador

Dr.António Brito

Dr.Gustavo

Sr.Sampaio

*CATIM – Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica – EngºPedro Castro
EngªCristina*

*CODEPLAS – EngºCarlos Ornelas
Engº.Albino Reis*

*CRUZINOX – Sr.Armando Melo
Dr.Miguel Melo
EngºFernando Mendonça
Todas as Pessoas que directa ou indirectamente na Cruzinox ajudaram*

*FORMAPLAS – Sr.Adelino
EngªPaulo Silva*

ACENYL – EngªSusana Campos

AUGUSTO GUIMARÃES –Engº João Bessa

QUIMIDROGA – EngºManuel Santos

*Gostaria ainda de agradecer à minha família, à minha namorada e amigos pelo apoio prestado.
Também está um bocadinho deles nesta dissertação.*

Muito Obrigado!

Resumo

O caminhar das Sociedades para um desenvolvimento sócio-económico cada vez mais sustentado traduz-se por uma preocupação ecológica relativamente à utilização de produtos.

Dentro dos fabricantes de louça metálica, existe uma preocupação crescente de obtenção de mais valias nos seus produtos aquando o seu desenvolvimento.

Enquadrado no projecto ECO-ERGO lançado pela empresa Cruzinox,Lda, tendo como parceiros a empresa Grandesign-design conceptual,INETI (Instituto Nacional de Engenharia,Tecnologia e Inovação) e empresas fornecedores de moldes , este estudo pretende a obtenção de um produto (Panela de Pressão) 100% reciclável.

A substituição de materiais termoendurecíveis (não recicláveis) por materiais termoplásticos suscita um re-desenvolvimento do produto agora limitado pelas características dos novos materiais, mas também alimentado pelas vantagens da sua utilização: maior liberdade de geometria possibilitando a integração funcional e novos processos de transformação:Tecnologias não convencionais como a injeção Sandwich bi-material e a injeção assistida com gás.

Este projecto, por um lado, visa o estudo da aplicação de materiais termoplásticos num produto de elevado desempenho térmico (acessórios para panela de pressão), e por outro, o estudo das tecnologias de processamento (associadas a materiais termoplásticos) orientado para técnicas não convencionais.

Este estudo permitiu encontrar materiais termoplásticos adequados para os produtos de elevado desempenho térmico (acessórios de uma panela de pressão) reciclável, assim como a viabilidade económica de um projecto nesse âmbito, segundo a análise de custos de técnicas convencionais e não convencionais de injeção.

Abstract

The path of societies in order to achieve a true sustained economical and social development to be translated into a raising ecological concern in using products.

Within cookware manufacturers, there is an increasing concern to obtain a greater deal of advantages in its products, during its development.

Fit in the project ECO-ERGO, launched by the company Cruzinox,Lda earning as partners the company Grandesign-conceptual design ;INETI (National Institute of Engineering, Technology and Innovation) and moulds supplying manufactures, this study intends to obtain a new product (Pressure cooker) 100% recycled.

The replacement of thermosets materials (non recycling) by thermoplastic drive as new development of a product which by one hand is limited by the characteristics of a new materials, but more important is feeded by the advantages of its utilization: more geometric freedom of parts allowing the functional fitting and new transforming process: Non conventional injection techniques as co-injection “sandwich” and gas injection.

This project, on the hand, it aims the study of thermoplastics materials applications in a thermal high performance product (accessories for pressure cookers), on the other hand, the study of processing technologies (associates to thermoplastics materials) guided for non conventional techniques.

This study it allows find ajusted recycling thermoplastics materials for thermal high performance products (accessories of a pressure cooker), as well as economical success of a project in this scope, through costs analysis of conventional and non-conventional injection techniques.

Índice de Figuras e Tabelas

Índice de Figuras

Fig.1 – Esquema de Vertentes de especificações de Produto	21
Fig.2- Esquema Teste resistência à combustão segundo a norma NP EN 12983-1	24
Fig.3- Teste resistência à combustão segundo a norma NP EN 12983-1-Imagem	24
Fig.4- Forno de teste de resistência ao calor dos acessórios.....	25
Fig.5- Esquema de Teste de resistência à torção dos acessórios	26
Fig.6- Esquema de Teste de resistência à flexão dos acessórios.....	27
Fig.7- Imagem de Teste de resistência à flexão dos acessórios	27
Fig.8- Esquema de Teste de fadiga dos acessórios	28
Fig.9- Ensaio de Tração – Norma ISO 527-1,2.....	30
Fig.10- Ensaio de Flexão – Norma ISO 178	33
Fig.11- Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy – Norma ISO 179.....	35
Fig.12- Teste de Chama Horizontal (Horizontal Burning) para classificação 94 HB	36
Fig.13- Teste de Chama para amostras sólidas de acordo com UL94 (1976)	37
Fig.14- Teste de Chama Vertical para a classificação de UL94–5V.....	39
Fig.15- Comparativo entre Testes de Chama segundo classificação de UL94	41
Fig.16- Esquema de Ensaio de Temperatura de deflecção ISO 75-A,B,C.....	42
Fig.17- Esquema de Ensaio de cálculo do índice de oxigénio segundo norma ISO 4589	43
Fig.18- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 1	44
Fig.19- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 1a	45
Fig.20- Figura de Menu de Pesquisa de materiais na base de dados PLASCAMS.....	48
Fig.21- Figura de Escolha de Fabricante na Biblioteca CAMPUSPLASTICS	50
Fig.22- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus	50
Fig.23- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus	51
Fig.24- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus	52
Fig.25- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 2	53
Fig.26- Molde de Injecção em ensaios de injecção	54
Fig.27- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 3	56
Fig.28 e 29 - Ensaio de Resistência à combustão e Ensaio de Resistência ao calor dos acessórios	57
Fig.30 e 31 - Ensaio de Resistência à Flexão e Ensaio de Resistência à Torção dos acessórios	57
Fig.32 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão	58
Fig.33 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão	59
Fig.34 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão	60
Fig.35 – Aspecto da amostra no final do ensaio de resistência ao calor.....	61
Fig.36- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 3	62
Fig.37- Fluxograma de divisão de custos na análise de Custos – Custo Final de Peça	63

Fig.38 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de material por peça	64
Fig.39 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de máquina por peça	65
Fig.40 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de Molde no custo de peça	67
Fig.41 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de operações pós-processamento no custo de peça	68
Fig.42 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Resumo do Custo de operações no custo de peça	68
Fig.43 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Cálculo de Custo de Cabo Superior Simple	70
Fig.44 – Gráfico comparativo de custos de peça segundos as vertentes material,molde,máquina e pós-processamento	72
Fig. 45 – Gráfico de análise de afectação de custos na vertente material, no material ULTEM PEI GE	73
Fig.46 – Valor percentual de custo dos diversos componentes no produto Panela de Pressão	76
Fig.47 – Esquema em corte de peça injectada pelo processo de co-injecção	78
Fig.48 – Esquema de processo de co-injecção – “Sandwich”	79
Fig.49 – Esquema de processo de co-injecção – “mono-Sandwich”	79
Fig.50 e 51 – Processos de co-injecção – “mono-Sandwich” e “Sandwich”	80
Fig.52 – Esquema de Formulação do problema de resistência ao calor	82
Fig.53 – Figura de Geração de malha e parâmetros de malha	83
Fig.54 – Parâmetros das condições de transferência de calor	84
Fig.55 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=10s$)	85
Fig.56 – Gradiente de Temperatura no instante ($t=80s$)	85
Fig.57 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=300s$)	86
Fig.58 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=500s$)	86
Fig.59 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante ($t=500s$)	87
Fig.60 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=1200s$)	87
Fig.61 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante ($t=1200s$)	88
Fig.62 – Figura de Gradiente de Temperatura	88
em corte no instante ($t=1500s$)	88
Fig.63 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=1500s$)	88
Fig.64 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=3600s$)	89
Fig.65 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante ($t=3600s$)	89
Fig.66 – Figura de Malha gerada a partir de modelo 3D	92
Fig.67- Diagramas de enchimento – Evolução da Frente do fundido em função do tempo	93
Fig.68 e 69 - Diagramas de enchimento – Tempo de enchimento e Diagramas de Pressão	94
Fig.70 - Diagrama de distribuição do polimero A no polimero B	95
Fig.71 - Diagrama percentual de distribuição do polimero B	96
Fig.72 - Diagrama percentual de distribuição do polimero B	96
Fig.73 – Peças com poliamida degradada e Polietermida	99

Fig.74 – Figura de Peça injectada segundo processo co-injecção (PC(V0)/PC(HB)).....	102
Fig.75 – Figura de peça em corte co-injectada – Aspectos de uniformidade de espessuras ..	102
Fig.76 – Figura de peça em corte	102
co-injectada – Análise de espessura dos 2 materiais	102
Fig.77 – Figura de peças em corte injectadas pelo processo de co-injecção – relevância da zona A	103
Fig.78 – Figura de cálculo de custo de material por peça para o material A e para o material B.	104
Fig.79 – Figura de cálculo de custos de molde,máquina e pós processamento por peça para o material A e material B.	105
Fig.80 – Gráfico comparativo de Custos de Peça Injecção Convencional vs co-Injecção	106
Fig.81 – Gráfico de Afecção de Custos para Injecção convencional – material PA(V0)/PA(HB)	107
Fig.82 – Gráfico de Afecção de Custos para co-injecção – material PA(V0)/PA(HB)	107
Fig.83 – Figura Ilustrando processo injecção assistida por gás nas várias fases.	108

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela de Classificação de testes de Chama segundo tempo.....	38
Tabela 2 – Tabela de Comparação de testes de Chama segundo norma UL94	41
Tabela 3 – Tabela de Especificações Térmicas	46
Tabela 4 – Tabela de Especificações Mecânicas	46
Tabela 5 – Tabela de Especificações Reológicas	46
Tabela 6 – Tabela de Especificações Eléctricas.....	47
Tabela 7 – Tabela de Especificações Especificas de Material	47
Tabela 8 – Tabela de Especificações de Aditivos.....	47
Tabela 9 – Tabela de Especificações de Características Especiais.....	47
Tabela 10 – Tabela de Materiais seleccionados na biblioteca PLASCAMS.....	49
Tabela 11 – Tabela de Materiais seleccionados na biblioteca CAMPUSPLASTICS fabricante BASF	52
Tabela 12 – Tabela de Registo de parâmetros de ensaio	55
Tabela 13 – Tabela de resultados de ensaios para material Polietermida(PEI).....	58
Tabela 14 – Tabela de resultados de ensaios para material Poliamida(PA).....	59
Tabela 15 – Tabela de resultados de ensaios para material Polibutileno Tetraftalato(PBT)	60
Tabela 16– Tabela de resultados de ensaios para material Policarbonato(PC)	61
Tabela 17 – Tabela comparativa de custos de diferentes materiais.....	71
Tabela 18– Análise de Afecção de Custos segundo as vertentes material, máquina,molde e acabamento	73

Tabela 19 – Percentagem de Custos dos diferentes componentes e de transformação no custo total do conjunto Panela de Pressão	74
Tabela 20 – Percentagem de custo de acessórios no custo conjunto Panela de Pressão	75
Tabela 21 – Afectação de custos de utilização de materiais PEI,PBT,MF25000,PA,PC6265 em vez do material PF31 no Cabo Superior e no conjunto Panela de Pressão	75
Tabela 22 – Tabela de parâmetros de ensaio para co-injecção PEI/PA	98
Tabela 23 – Tabela de parâmetros de ensaio para co-injecção PC/PC	101
Tabela 24 – Tabela de análise de afectação de custos segundo processo de injecção convencional	106
Tabela 25 – Tabela de análise de afectação de custos segundo processo de co-injecção	106

Índice

Cap. I – Introdução	15
1.1 Considerações Gerais	15
1.2 Objectivos	15
1.2.1 Objectivos especificos.....	16
1.2.2 Enquadramento.....	16
1.2.2.1 Objectivos do Projecto ECO-ERGO	16
1.2.2.2 Parceiros Envolvidos do Projecto ECO-ERGO	17
1.3 Organização da Dissertação	19
1.4 Recursos Disponíveis Utilizados	20
Capitulo II. Fase de Recolha de Informação	21
2.1 Recolha de informação – Construção de Lista de Especificações	21
2.2 Aspectos Relevantes na Norma NPEN 12983-1	23
2.2.1 Análise do Ensaio de Resistência à Combustão - Anexo A da Norma NPEN 12983-1	24
2.2.2 Análise do Ensaio de Resistência ao Calor dos Acessórios - Anexo B da Norma NPEN 12983-1	25
2.2.3 Análise do Ensaio de Resistência à Torção – Anexo C da Norma NPEN 12983-1 ..	26
2.2.4 Análise do Ensaio de Resistência à Flexão – Anexo D da Norma NPEN 12983-1 ..	27
2.2.5 Análise do Ensaio de Fadiga das Pegas – Anexo E da Norma NPEN 12983-1	28
2.3 Aspectos Relevantes nas Norma de Ensaio de Materiais.....	29
2.3.1 Determinação das propriedades de Tracção (ISO 527-1,2).....	30
2.3.2 Determinação das propriedades de Flexão (ISO 178)	33
2.3.3 Determinação da Resistência de Impacto Charpy (ISO 179).....	35
2.3.4 Capacidade de Inflamabilidade (Flammability).....	36
– UL 94 Classificações HB,V-2,V-1,V0,5V,5VA,5VB.....	36
2.3.5 Temperatura de Deflecção de peças sob carga – ISO 75	42
2.3.6 Índice de Oxigénio – ISO 4589	43
Capitulo III. Fase Experimental	44
3.1 Realização de Procedimento de Teste de Materiais	44
3.1.1 Construção da Lista de Especificações	45
3.1.2 Pesquisa de Materiais nas Bases de Dados Informáticas.....	48
3.1.2.1 Pesquisa na Base de Dados PLASCAMS	48
3.1.2.2 Pesquisa Na Biblioteca CAMPUSPLASTICS	50
3.1.3 Ensaio de Injecção dos materiais seleccionados	53
3.1.4 Ensaio funcionais de acordo com a norma NP EN 12983-1.....	56
3.2 Análise de Viabilidade económica dos materiais ensaiados	62
3.2.1 Cálculo de Custo de peça para materiais ensaiados	63

3.2.2 Análise comparativa de custo peça	71
3.2.3 Análise de Custo do Conjunto Panela de Pressão	74
3.2.3 Análise de viabilidade económica - Conclusões.....	77
3.3 Aplicação de tecnologias de injeção não-convencionais com o intuito de redução de custo de peça – Co-Injeção	77
3.3.1 Utilização de tecnologia não convencional Bi-material (monosandwich ou sandwich), para redução de material - Introdução	77
3.3.2 Processo de Co-injeção – Breve Introdução	78
3.3.3 Estudo Térmico com ferramenta informática de elementos finitos (COSMOS) para análise de distribuição de temperatura	81
3.3.3.1 Formulação do Problema	82
3.3.3.2 Criação do modelo para Software de análise	83
3.3.3.3 Geração da malha	83
3.3.3.4 Aplicação das condições de fronteira.....	84
3.3.3.5 Cálculo de gradientes de temperatura	84
3.3.3.4 Análise de Resultados.....	85
3.3.3.6 Conclusões e/ou reformulação do problema	90
3.3.4 Estudos reológicos do processo co-injeção.....	91
3.3.5 Realização de ensaios de co-injeção.....	97
3.3.6 Cálculo de Custos co-Injeção	104
3.3.7 Comparativo de custos Injeção Convencional vs Co-Injeção	106
3.4 Aplicação de tecnologias de injeção não-convencionais com o intuito de redução de custo de peça – Injeção assistida por gás.....	108
Cap. IV – Conclusões Finais e propostas para estudos futuros	110
4.1 Conclusões Finais	110
4.2 Propostas para Trabalhos futuros	111

Bibliografia

- Livros:

H. DIMININGHAUS;**Plastics for Engineers: Materiais, Properties, Applications**;
Hanser Publishers, Munique, 1993.

E. BAER E A. MOET;**High Performance Polymers**;Hanser Publishers, Munique,
1990

BAKELITE AG;**Comparison of test Standards**;BAKELITE AG

M. L. KOHAN;**Nylon Plastics**; Hanser Publishers, Munique, 1995

L. A. UTRACKI ;**Encyclopaedic Dictionary of Commercial Polymer Blends**,
ChemTec Publishing, Toronto, 1994.

JEAN BOST;**Matieres Plastiques I-Chimie Applications**;Technique &
Documentation

JEAN BOST;**Matieres Plastiques II-Technologie Plasturgie**;Technique &
Documentation

CHARLES A.HARPER;**Fundamental of Plastics and Elastomers**;Westinghouse
Electric Corporation Baltimore,Maryland

JOHN WILEY & SONS;**Handbook of Plastics,Testing Technology**;A.Wiley-
Interscience Publication

JORDAN ROTHENSEN;**Joining of Plastics-Handbook for designers and
engineers**;Hanser Publishers Munich

JESSE EDENBAUM;**Plastics additives and modifiers handbook**;Chapman e
Hall

ANTÓNIO M.CUNHA;Moldação **por Injecção e Materiais - Manual do
Projectista**, Centimfe

ANTÓNIO M.CUNHA; **Técnicas Não-Convencionais - Manual do Projectista**,
Centimfe

- Normas:

NP EN 12983 – 1 2001 “ Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa “

ENV 12875 – March 1998 “Mechanical dishwashing resistance of domestic articles – Reference test method”

UNE-EN ISO 178 “Determinación de las propiedades de flexión”

UNE-EN ISO 179 “Determinación de la resistencia al impacto Charpy”

UNE-EN ISO 527-1 e 2 “Determinación de las propiedades en tracción”

UNE-EN ISO 604 “Determinación de las propiedades de compresión”

NF EN ISO 2039-1 “Détermination de la dureté”

- Internet:

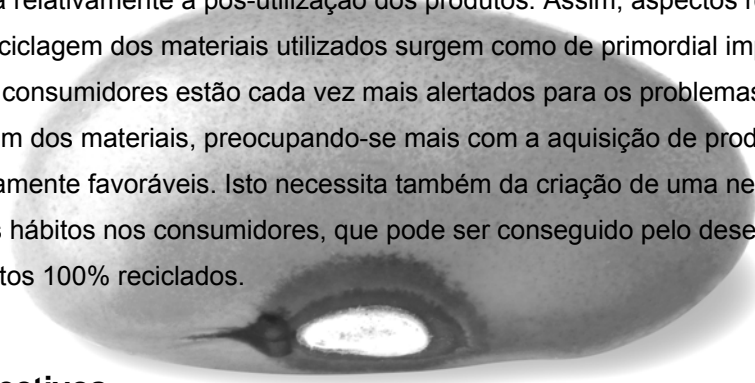
- www.iso.com
- www.iec.ch
- <http://www.plastics.dupont.com/>
- <http://www.bayer.com/en/tk/polymers.php>
- <http://www.borealisgroup.com/public/>
- <http://www.rhodia-ep.com/>
- <http://www.campusplastics.com/access/adress.html>
- <http://www.bakelite.de/eng/>
- <http://www.raschig.de/>
- <http://www.din.de/>
- <http://www.ul.com>

- Software Utilizado:
 - KBSPLASCAMS
 - MC-BASE 4.0
 - SOLIDWORKS
 - MOLDFLOW PART INSIGN 4.01
 - CAMPUSPLASTICS
 - ALGOR FEMPRO
 - COSMOS DESIGNSTAR 3.0

Cap. I – Introdução

1.1 Considerações Gerais

Há uma preocupação crescente entre os fabricantes de louça metálica com a obtenção de mais valias nos seus produtos aquando o seu desenvolvimento. Isto implica uma forte inovação e incorporação de *know-how* próprios nos novos produtos a produzir. Estas podem ser conseguidas através da introdução de materiais alternativos e/ou processos tecnológicos não convencionais que conduzam à produção economicamente mais vantajosa. Por outro lado, o caminhar para um desenvolvimento socio-económico cada vez mais sustentado traduz-se também por uma preocupação ecológica relativamente à pós-utilização dos produtos. Assim, aspectos relacionados com a reciclagem dos materiais utilizados surgem como de primordial importância. De facto, os consumidores estão cada vez mais alertados para os problemas da reciclagem dos materiais, preocupando-se mais com a aquisição de produtos ecologicamente favoráveis. Isto necessita também da criação de uma necessidade e de novos hábitos nos consumidores, que pode ser conseguido pelo desenvolvimento de produtos 100% reciclados.



1.2 Objectivos

No âmbito de um projecto de desenvolvimento de um novo produto a empresa Cruzinox, Lda, fabricante conceituado de louça metálica (panelas de pressão), pretende obter um produto 100% reciclável, mais propriamente, uma panela de pressão 100% reciclável. Actualmente, as panelas de pressão possuem um corpo e tampa metálicos com alguns acessórios em materiais plásticos termoendurecíveis (p.e., as pegas). Obviamente que a substituição destes últimos se torna imperiosa para a produção de uma panela 100% reciclável. Surgem assim como alternativa outros materiais plásticos recicláveis como os termoplásticos. No entanto, estes materiais devem cumprir com as apertadas especificações impostas actualmente para este tipo de aplicação. Por outro lado, os materiais termoplásticos apresentam também uma vantagem adicional de facilidade de processamento a custos também mais interessantes. Assim, a eventual substituição de um material termoendurecível por outro termoplástico pode suscitar um re-desenvolvimento do produto agora limitado pelas características dos novos materiais a serem utilizados, mas também alimentado pelas vantagens da sua utilização, como a sejam: a maior liberdade de geometria possibilitando a integração funcional e os novos processos de transformação. Nestes últimos incluem-se as tecnologias não convencionais como a injeção assistida com gás e a injeção Sandwich bi-material. Estas vantagens podem também ser extendidas a outros acessórios da panela de

pressão, como por exemplo a válvula de escape de vapor. Assim este projecto visa, por um lado, o estudo da aplicação de materiais termoplásticos num produto de elevado desempenho (acessórios para panela de pressão), e por outro, o estudo das tecnologias de processamento (associadas a materiais termoplásticos) orientado para técnicas não convencionais. Estes estudos debruçar-se-ão sobre os acessórios do produto panela de pressão.

1.2.1 Objectivos específicos

Os objectivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Identificação de requisitos e especificações do produto
- Selecção de material(ais) que cumpra(m) as especificações para aplicação em acessórios de louça metálica.
- Estudo detalhado do comportamento dos materiais termoplásticos seleccionados para a aplicação em acessórios de louça metálica.
- Estudo da processabilidade desses materiais por moldação por injeção para a produção dos acessórios de louça metálica.
- Estudo de processos não convencionais de moldação por injeção com vista a redução do custos do produto, incluindo o desenvolvimento de moldes não convencionais.
- Análise de viabilidade económica da substituição de material termoendurecível actual para acessórios de louça metálica por materiais termoplásticos.

1.2.2 Enquadramento

Importa salientar que esta dissertação esteve enquadrada com um projecto que a empresa Cruzinox desenvolveu de seu nome ECO-ERGO.

1.2.2.1 Objectivos do Projecto ECO-ERGO

O projecto Eco-ergo comporta o desenvolvimento de um produto inovador no mercado das panelas de pressão, que tenha a possibilidade de se alargar a outras áreas do negócio dos artigos de *kitchenware* e de *menage*. Para tal, compreende a concepção de um produto "verde", associado a uma conotação ecológica que pretendemos acompanhar. Para além de podermos beneficiar das mais valias associadas a esta crescente tendência de procura de mercado por bens com uma conotação ecológica e amiga do ambiente este projecto está a ser desenvolvido paralelamente à implementação de um

sistema de gestão ambiental na empresa, aliado ao conceito da Higiene Saúde e Segurança no Trabalho. Desta forma, este projecto Eco-ergo é o balão de ensaio que acompanha a implementação desse sistema.

O restante vértice basilar deste triângulo é a Qualidade, presente em todos os parâmetros desta empresa, e que pretendemos continuar a acompanhar, melhorando e rentabilizando todos os recursos ao máximo.

Os objectivos finais deste projecto são a produção de um modelo inovador - reciclável - de uma panela de pressão, e a criação de uma linha de desmontagem de panelas velhas. Pretende-se que a nova panela seja reciclável a 100% pelo que desenvolveremos todos os inerentes processos para alcançarmos este valor máximo.

Relativamente à panela de pressão reciclável, pretendemos ir de encontro a um nicho de mercado muito específico, mas que está a crescer muito rapidamente, que são os consumidores com preocupações com o meio ambiente e cujo estilo de vida reflecte essa preocupação. Assim, para além de, por definição, sermos "amigos do ambiente já que utilizamos o aço inoxidável e termoplástico, fabricamos um produto que diminui por si só o consumo de energia, produzimos um utensílio que pode cozinhar apenas a vapor. Este factor por si só já é diferenciador, já que o cozinhar a vapor preserva todas as qualidades nutricionais dos alimentos.

A linha de desmontagem de panelas de pressão velhas está directamente relacionada com o carácter inovador da reciclagem, com o tipo de canais de distribuição e estratégia de promoção aquando da fase de lançamento do produto. Uma vez que pretendemos fazer uma campanha do tipo "traga-nos a sua panela velha e nós damos-lhe uma nova, amiga do ambiente", a linha de desmontagem assume uma grande importância para desmontarmos os artigos antigos e dividirmos as peças para a sua futura reciclagem.

Finalmente um outro objectivo a considerar é o do reforço da empresa, marcas e produtos, aproveitando a força promocional do esforço do lançamento de um produto com estas características.

1.2.2.2 Parceiros Envolvidos do Projecto ECO-ERGO

As parcerias estabelecidas para este projecto estão directamente relacionadas com a metodologia de trabalho a seguir e com a estratégia da empresa em situações similares. Desta forma, recorreremos ao *outsourcing* de empresas especializadas, criando grupos de trabalho que neste caso são:

- **Grandesign - design conceptual;** refinamento formal e funcional e modelação das superfícies.

- **Fabricante de moldes (Metaloplástico)** - projecto e fabricação de alguns moldes para produção dos acessórios da panela de pressão a desenvolver.
- **Cruzinox,Lda** - grupo coordenador de projecto (departamentos de: qualidade + comercial + logística+ produção - responsabilidade na gestão global do projecto bem como todo o desenvolvimento necessário.
- O **INETI (Instituto Nacional de Engenharia,Tecnologia e Inovação)** irá participar neste projecto fornecendo toda a metodologia para o desenvolvimento de um “produto verde”.Este parceiro tem um larga experiência na implementação desta metodologia e será de sua responsabilidade todo o direccionamento dos esforços de desenvolvimento atendendo, não só à utilização de materiais específicos bem como ao estudo de todo o processo produtivo associado.

1.3 Organização da Dissertação

Neste Item pretende-se esclarecer o leitor para a estrutura da dissertação. A forma como esta se encontra organizada. Nem mais nem menos que um índice descritivo de todas as fases do estudo.

Basicamente a dissertação está dividida em duas grandes fases:

- Recolha de Informação - Pesquisa Bibliográfica
- Fase Experimental
- Conclusões Finais e Propostas para estudos futuros

Na primeira fase, Recolha de Informação – Pesquisa Bibliográfica foi analisado o problema e procedemos à recolha do maior nº de informação relativo a este. Incidência especial para normalização.

Contemplou esta fase uma recolha de normas:

- Normas Relativas a Louça Metálica – Panelas de Pressão
- Normas Relativas a Materiais e suas especificações de ensaio

Na segunda fase, Fase experimental começamos por desenvolver um procedimento de procura e teste de materiais para as especificações pretendidas.

Este procedimento engloba a realização de uma tabela de especificações realizada através do “cruzamento” de normas de louça metálica com normas de materiais.

Procedemos a simulações em computador (CAE – Computer Adding Engineering) e a ensaios de injeção de materiais seleccionados, assim como ensaios mecânicos de acordo com normas de louça metálica –Panelas de Pressão.

Após cada conjunto de ensaios procedemos a uma análise de resultados, assim como uma análise de viabilidade económica.

Na fase final fazemos uma reflexão sobre as conclusões do estudo efectuado com propostas para futuros desenvolvimentos nesta area.

1.4 Recursos Disponíveis Utilizados

Os Meios disponíveis e utilizados foram:

- Gabinete de Desenvolvimento da empresa Cruzinox,Lda
- Materiais e Bibliografia Disponibilizada pelos fornecedores/fabricantes de matéria prima
- Injectoras disponibilizadas pelas empresas de injeção
- Laboratórios de ensaios de louça metálica existentes na empresa Cruzinox e no CATIM (Centro de Apoio Tecnológico Indústria Metalomecânica)

Capitulo II. Fase de Recolha de Informação

2.1 Recolha de informação – Construção de Lista de Especificações

Neste Item descreve-se com pormenor toda esta fase, assim como a descrição da informação recolhida que considera-se com interesse para o desenvolvimento da fase experimental. Antes da fase de selecção de materiais aplicáveis, é necessário construirmos uma lista de especificações iniciais de produto (Panela de Pressão). Esta lista foi construida segundo quatro vertentes, como podemos observar na figura abaixo.

- **Ambiental:** A Panela de pressão tem que ser 100% reciclável
- **Funcional:** A Panela de Pressão deverá cumprir todos os requisitos descritos na norma NP EN 12983-1 *“Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa”*
- **Custo :** O custo da panela de pressão não deverá ultrapassar 10% do custo da panela de pressão existente.
- **Aspectos Estéticos:**

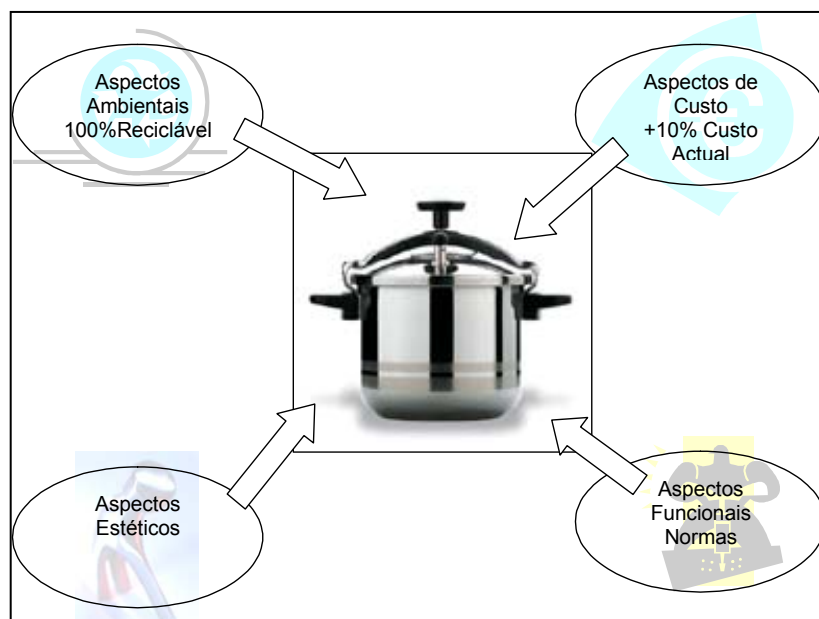


Fig.1 – Esquema de Vertentes de especificações de Produto

A informação encontrada com interesse para o projecto a nível funcional e normativo encontra-se descrito em baixo:

- Normas Relativas a Louça Metálica
 - NP EN 12983 – 1 2001 *“ Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa “*
 - ENV 12875 – 1 March 1998 *“ Mechanical dishwashing resistance of domestic articles – Reference test method”*

- Normas Relativas a Materiais

Propriedades Gerais:

Apparent Density	(g/cm ³)	ISO 60
Specific Gravity	(g/cm ³)	ISO 1183
Mould Shrinkage	(%)	ISO 2577
Post-Shrinkage (168 h/110°C)	(%)	ISO 2577
Water Absorption (24h/23°C)	mg;%	ISO 62

Propriedades Mecânicas:

Tensile Strength	MPa	ISO 527
E-Modulus (Tensile Test)	MPa	ISO 527
Flexural Strength	MPa	ISO 178
E-Modulus (Flexural Test)	MPa	ISO 178
Impact Strength (Charpy)	KJ/m ²	ISO 179
Impact Strength (Charpy) notched	KJ/m ²	ISO 179
Ball Indentation hardness	MPa	ISO 2039
Compressive Strength	MPa	ISO 604

Propriedades Térmicas:

Heat Deflection Temp. (1,8 MPa)	°C	ISO 75-A
Heat Deflection Temp. (0,45 MPa)	°C	ISO 75-B
Heat Deflection Temp. (8,0 MPa)	°C	ISO 75-C
Flammability (1.6mm)	Stufe/mm	UL94
Flammability (3.2mm)	Stufe/mm	UL94
Glow Resistance	Stufe<=	IEC707
Limiting Oxygen Index	%	ISO 4589
Coef.of linear thermal exp.(20-70°C)	°C	IEC 11359
Max.Application Temperature (<50h)	°C	IEC 216
Glow-wire test		DIN VDE
Needle-flame test		DIN VDE

Propriedades Eléctricas:

Tracking Resistance		IEC 60112
Volume Resistivity		IEC 60093
Surface Resistivity		IEC 60093
Dielectric Strength (1mm)	KV/mm	IEC 60243
Loss Factor tg delta (1MHz)		IEC 60250
Dielectric constant (1MHz)		IEC 60250

2.2 Aspectos Relevantes na Norma NPEN 12983-1

Neste Item vamos tentar focar os aspectos que são importantes para o desenvolvimento do nosso projecto. No fundo vamos saber que especificações terá que cumprir o nosso produto (Asas e Cabos para Panela de Pressão). Obviamente, que não vamos aqui descrever a norma, visto que ela se encontra no anexo I. Pretende-se chamar a atenção para aspectos chave na construção da lista de especificação de produto (Caderno de Encargos)

Os ensaios relevantes são :

- Ensaio de Resistência à Combustão – Anexo A da Norma NPEN 12983-1
- Ensaio de Resistência ao Calor dos Acessórios – Anexo B da Norma NPEN 12983-1
- Ensaio de Resistência à Torção dos Acessórios – Anexo C da Norma NPEN 12983-1
- Ensaio de Resistência à Flexão dos Acessórios – Anexo D da Norma NPEN 12983-1
- Ensaio de Resistência à Fadiga dos Acessórios – Anexo E da Norma NPEN 12983-1

2.2.1 Análise do Ensaio de Resistência à Combustão - Anexo A da Norma NPEN 12983-1

*“Uma pega **não deve derreter ou fundir de forma a gotejar material em fusão e/ou inflamar** quando os ensaios são efectuados de acordo com o Anexo A. Qualquer combustão deve ser auto-extinguível dentro de 15 s após a remoção da chama. Após extinta a combustão, o material da pega não deverá reacender espontaneamente”*

...

A.2.3. *Expor a pega à chama durante **30±1 s**, afastar a chama e deixar queimar a pega até à **auto extinção** da chama ou durante **15 s**, o que **ocorrer primeiro**. Observar se a matéria em fusão ou inflamada cai da pega durante esse lapso de tempo.*

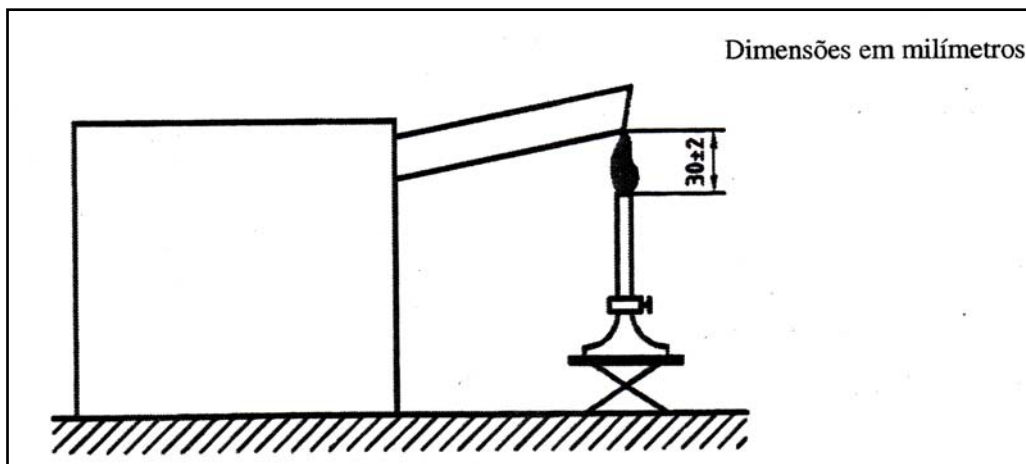


Fig.2- Esquema Teste resistência à combustão segundo a norma NP EN 12983-1



Fig.3- Teste resistência à combustão segundo a norma NP EN 12983-1-Imagem

2.2.2 Análise do Ensaio de Resistência ao Calor dos Acessórios - Anexo B da Norma NPEN 12983-1

“Todos os acessórios concebidos para serem ligados ao corpo principal do produto, devem estar isentos de fendas e bolhas após a realização do ensaio descrito no anexo B, a uma temperatura de $(150\pm 5)^{\circ}\text{C}$ durante 1 hora...”

Modo Operatório:

...

B.1.1 Estufa com circulação de ar capaz de manter a temperatura de $(150\pm 5)^{\circ}\text{C}$

B.2.5 Retirar o utensílio de cozinha ensaiado, colocá-lo sobre uma superfície seca e deixá-lo arrefecer à temperatura ambiente

B.2.6 Examinar o acessório a olho nu (distância de referência 250mm) para descobrir as deteriorações.



Fig.4- Forno de teste de resistência ao calor dos acessórios

2.2.3 Análise do Ensaio de Resistência à Torção – Anexo C da Norma NPEN 12983-1

“Quando os ensaios são efectuados conforme o anexo C, o movimento da pega(cabo) **não deve ultrapassar 10º em ambos os sentidos**. Este ensaio não deve provocar nenhum dano que afecte a função da pega (cabo).”

Modo Operatório

...

C.1.1 **Alavanca de 1m de comprimento e de massa (1±0.1)Kg**, incluindo a fixação e o ponteiro, que possa ser fixada sobre uma pega (cabo) de forma a fazer coincidir o seu centro com o da pega (cabo) e impedir qualquer movimento entre a alavanca e a pega(cabo).

...

C.1.5 **Massa de ensaio de 1Kg** que possa ser suspensa em cada extremidade da alavanca de ensaio.

...

C.2.4 Aplicar a massa de ensaio sobre o lado esquerdo da alavanca, **deixar estabilizar durante 30s** e anotar o **deslocamento angular**

C.2.5 Transferir a massa para o lado direito da alavanca, deixar estabilizar durante 30s e anotar o deslocamento angular

C.2.6 Controlar a pega(cabo) e o seu sistema de fixação e registar todas as deteriorações.

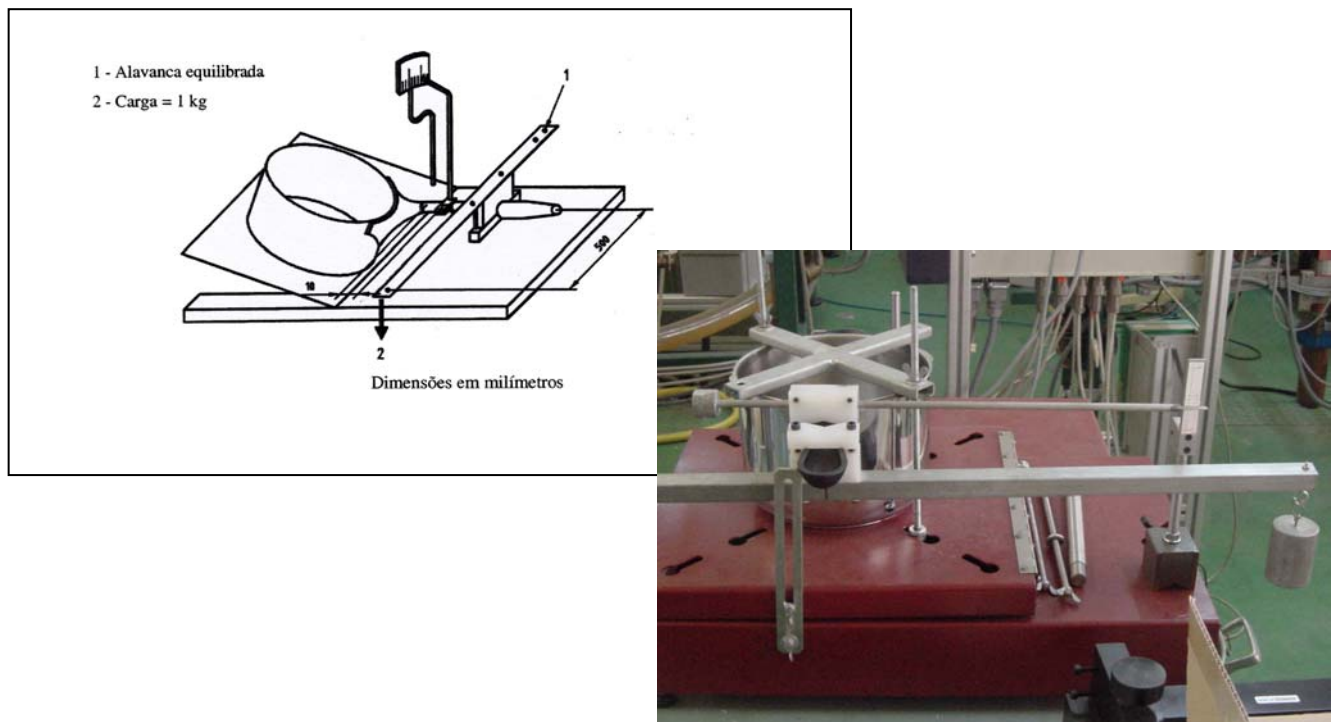


Fig.5- Esquema de Teste de resistência à torção dos acessórios

2.2.4 Análise do Ensaio de Resistência à Flexão – Anexo D da Norma NPEN 12983-1

“ Quando submetido aos ensaios descritos no anexo D, o sistema de fixação deve suportar uma **força de flexão de 100 N sem enfraquecimento** do sistema de ligação, como rebites, solda, etc.”

Modo Operatório

...

D.2.1 Fixar solidamente o utensílio de cozinha sobre a base rígida de forma a que a face de contacto da barra de carga esteja a **(10±1)mm da extremidade da pega** (ver figura D.1). Não considerar qualquer fixação que não faça parte integrante da peça

D.2.2 Aplicar progressivamente a carga sobre a pega, sem choque, até que a carga seja suportada ou que o sistema de fixação ceda.

D.2.3 Examinar os sistemas enfraquecidos para determinar a causa do enfraquecimento.

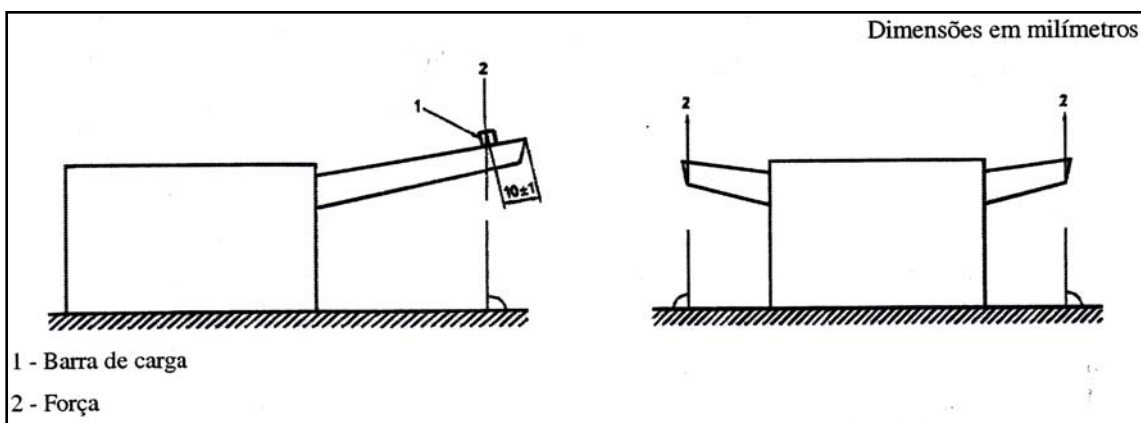


Fig.6- Esquema de Teste de resistência à flexão dos acessórios



Fig.7- Imagem de Teste de resistência à flexão dos acessórios

2.2.5 Análise do Ensaio de Fadiga das Pegas – Anexo E da Norma NPEN 12983-1

“Um conjunto de pegas **deve suportar 15 000 ciclos sem deformação permanente ou afrouxo permanente da pega** ou do seu sistema de fixação, quando submetidos aos ensaios descritos no anexo E....

“... Uma deformação inferior a 5% do comprimento da pega, medida na extremidade da pega, não é considerada, excepto se afectar a segurança ou a sua função.”

Modo Operatório:

“...

E.2.2 Fixar solidamente o utensílio de cozinha à aparelhagem, representada na figura E.1, apropriado ao tipo e número de pegas. Assegurar que o utensílio de cozinha assenta num plano sobre a mesa e que exista uma folga de 1mm entre a came e o rolete quando a came se encontra no seu ponto mais baixo.

E.2.3 Colocar no utensílio de cozinha uma carga(W) equivalente a 1,5 vezes a massa de água (V), correspondente à capacidade do utensílio de cozinha.

E.2.4 Efectuar o nº de ciclos requeridos com a aparelhagem. Depois disso, retirar o utensílio de cozinha da aparelhagem, e **examinar e registar qualquer deterioração permanente da pega ou do sistema de fixação**”

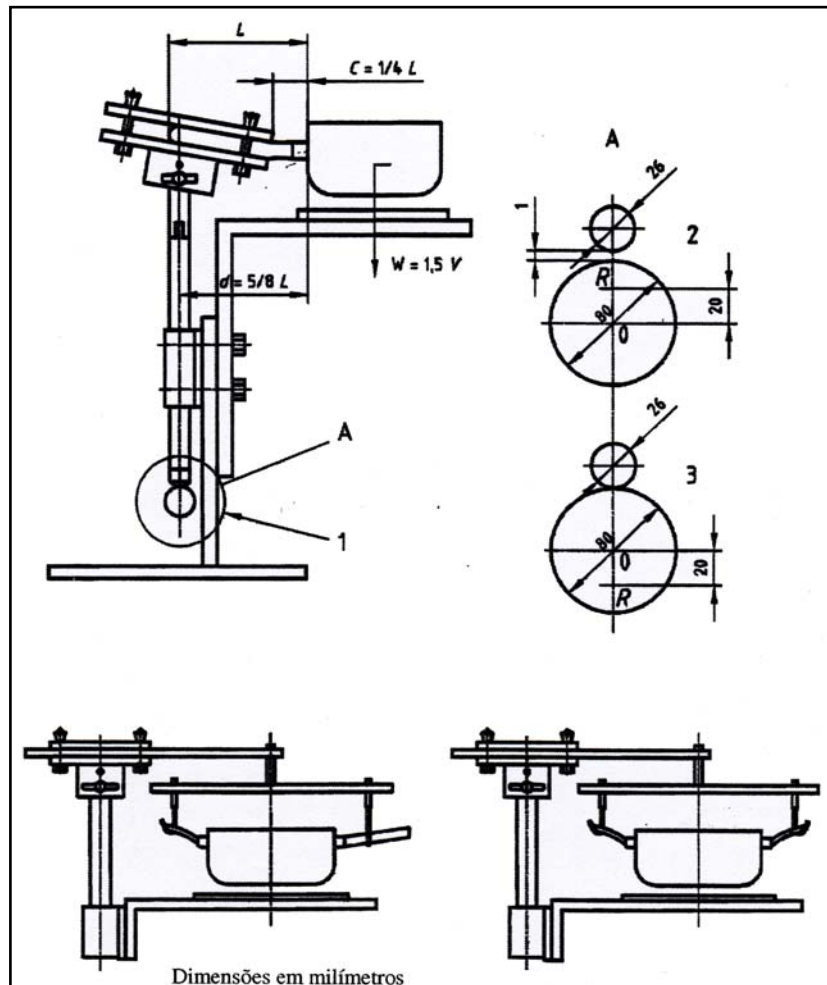


Fig.8- Esquema de Teste de fadiga dos acessórios

O ensaio referido no anexo E da norma NP EN 12983 – 1 2001 só é efectuado numa fase final dos testes. Numa fase inicial não o consideramos, visto ser um teste de fadiga. Consideramos que se os materiais cumprissem os anteriores ensaio, então se justificava o ensaio de fadiga.

Referir ainda que este é um ensaio bastante moroso.

De qualquer maneira de referir o procedimento de ensaio, assim como os seus aspectos relevantes, visto que será também um ensaio a cumprir nas peças a testar.

2.3 Aspectos Relevantes nas Norma de Ensaio de Materiais

À semelhança do que fizemos no item 2.1 fazemos uma reflexão sobre os aspectos chave de requisitos de materiais. As normas de ensaio de materiais ajudam-nos a construir a nossa lista de especificações para a introdução de requisitos em bases de dados tipo CAMPUSPLASTICS ou PLASCAMS.

Sabermos que requisitos ou normas que os materiais cumprem e em que condições cumprem é essencial para conseguirmos chegar ao nosso objectivo. Seleccionar um material que satisfaça as nossas especificações. Logo, baseados na norma NPEN 12983-1 e nos ensaios de materiais conseguimos ver que convergem em alguns pontos. Esses pontos de convergência serão essenciais na formulação das especificações do nosso produto (Asa e Cabo para Panela de Pressão). Mais uma vez não se pretende simplesmente descrever as normas, visto que estão disponíveis para consulta, interessa pois encontrar os pontos mais importantes dessas mesmas normas.

2.3.1 Determinação das propriedades de Tracção (ISO 527-1,2)

Definição:

τForça de Tracção é o máximo de força que leva à ruptura da amostra em teste segundo um esforço uniaxial.

Unidade de Medida:MPa

Procedimento do Teste:

A Amostra do teste (normalmente uma barra provete) é alongada com uma velocidade constante segundo uma direcção longitudinal até a ruptura ocorrer.

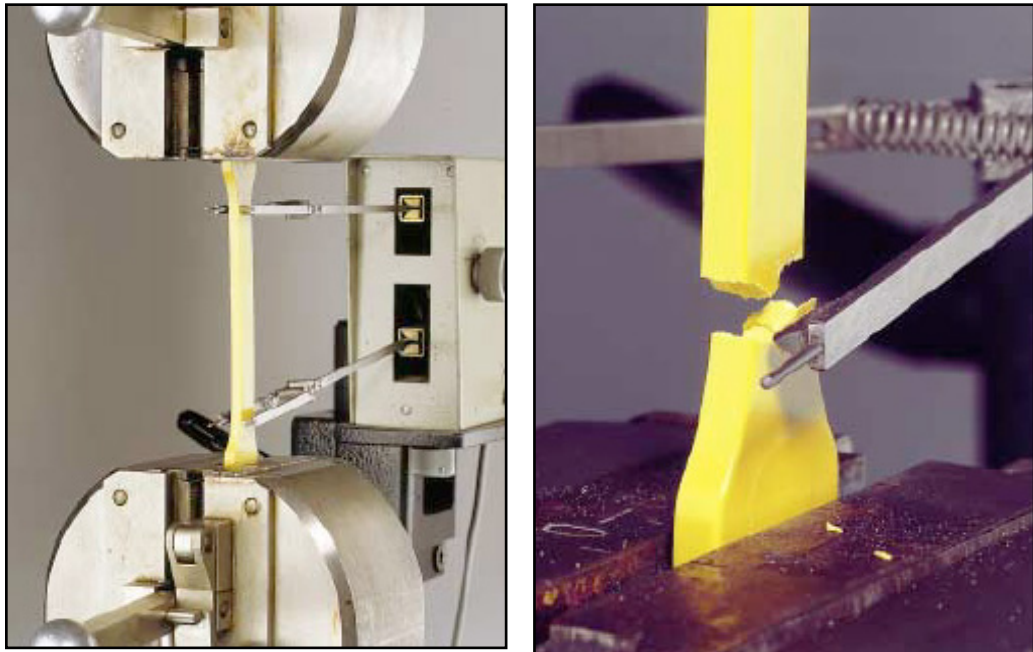


Fig.9- Ensaio de Tracção – Norma ISO 527-1,2

1. Cálculo de Esforços

Esforço em Tracção: (σ) - Força de tracção por unidade de superfície da secção transversal inicial da longitude de referência, suportada pelo provete de ensaio em cada instante do ensaio.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ – Valor do esforço de Tracção correspondente, expresso em Megapascascales

F – Força Medida correspondentemente, em Newton

A – Área da secção transversal inicial do provete, em mm²

2. Cálculo de Deformações

Deformação: (\mathcal{E}) – Incremento de comprimento por unidade de comprimento inicial do comprimento de referência. Expressa-se sem dimensões, ou em percentagem (%).

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

$$\mathcal{E}(\%) = 100 \times \frac{\Delta L_0}{L_0}$$

\mathcal{E} – É o valor da deformação correspondente, expressa adimensionalmente ou em percentagem;

L_0 – É o comprimento de referência do provete, em milímetros;

ΔL_0 – É o incremento do comprimento do provete entre as marcas de referência, em milímetros;

Deformação Nominal em Tracção: (\mathcal{E}_t) – Incremento do comprimento inicial, por unidade de comprimento, da distância entre as “amarras” (separação das “mordaças”). Expressa-se sem dimensões, ou em percentagem (%).

$$\mathcal{E}_t = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\mathcal{E}_t(\%) = 100 \times \frac{\Delta L}{L}$$

\mathcal{E}_t – É a deformação nominal em tracção, expressa adimensionalmente ou em percentagem;

L – É a distância inicial entre “agarras”, em milímetros;

ΔL – É o incremento da distância entre “agarras”, em milímetros;

2. Cálculo do Módulo

Módulo de Elasticidade em Tracção (E_t): Relação entre a diferença de esforços, σ_2 menos σ_1 , e a diferença dos valores de deformação correspondentes ε_1 e ε_2

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

E_t - Módulo de Elasticidade expresso em MPa

σ_1 - Esforço, em MPa, medido ao valor de deformação ε_1 ;

σ_2 - Esforço, em MPa, medido ao valor de deformação ε_2 ;

3. Cálculo do Coeficiente de Poisson (μ_n) : Relação negativa da deformação ε_n segundo um dos eixos perpendiculares à direcção do esforço, na parte linear da curva de deformação longitudinal. Expressa-se sem dimensões.
O coeficiente de Poisson indica-se com a designação (μ_b) direcção da largura ou (μ_h) direcção da espessura de acordo com o eixo correspondente. O módulo de Poisson utiliza-se preferencialmente para materiais reforçados com fibras largas.

$$\mu_n = -\frac{\varepsilon_n}{\varepsilon}$$

μ_n - Coeficiente de Poisson, expresso sem dimensões, com n=b (largura) ou h (espessura) indicando a direcção normal escolhida;

ε — Deformação na direcção longitudinal;

ε_n — Deformação na direcção normal, com n=b (largura) ou h (espessura)

2.3.2 Determinação das propriedades de Flexão (ISO 178)

Força de Flexão é o coeficiente entre o momento flector na ruptura da amostra e a sua área de secção respectiva.

Unidade:MPa

Procedimento do Teste

O Provete amostra é colocado sobre um suporte apoiado em 2 pontos. Num terceiro apoio ao centro é incrementada a força sabendo para que força respectiva é causada a ruptura.

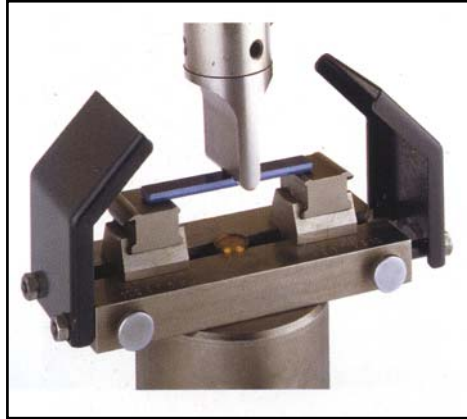


Fig.10- Ensaio de Flexão – Norma ISO 178

1.Cálculo de Esforço de Flexão

Esforço de Flexão (σ_f) – Esforço nominal da superfície externa do provete no ponto de aplicação da carga.

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2}$$

F – Força aplicada,em newtons;

L – Distância entre apoios,em milímetros;

b – Largura em milímetros, do provete;

h – Espessura em milímetros, do provete;

2.Cálculo do Módulo de Flexão

Módulo de Elasticidade em flexão; Módulo de Flexão (E_f): Relação entre a diferença de esforços $\sigma_{f2} - \sigma_{f1}$ e a correspondente diferença de deformações ($\epsilon_{f1} - \epsilon_{f2}$).

Para a medição do módulo de Flexão, calculam-se as Flechas S_1 e S_2 , que correspondem aos valores de deformação em flexão ϵ_{f1} e ϵ_{f2} .

Flecha (S_i) – Distância medida durante a flexão, a partir da sua posição inicial, para a superfície inferior ou superior do provete na zona da aplicação da carga.

$$S_i = \frac{\epsilon_{fi} L^2}{6h} (i = 1; 2)$$

S_i – Flecha Individual, em milímetros;

ϵ_{fi} – Deformação em flexão correspondente, cujos valores ϵ_{f1} e ϵ_{f2} são dados anteriormente;

L – Distância entre apoios, em milímetros;

h – Espessura do provete em milímetros;

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}}$$

E_f – Módulo de Elasticidade em Flexão, expresso em MPa;

σ_{f1} - Esforço em Flexão, expresso em MPa, medido para a flecha S_1 ;

σ_{f2} - Esforço em Flexão, expresso em MPa, medido para a flecha S_2 ;

2.3.3 Determinação da Resistência de Impacto Charpy (ISO 179)

A Força de Impacto é a energia consumida no impacto em provetes com/sem entalhes.
Unidade de medida: KJ/m²

Procedimento do Teste

A energia consumida na destruição do provete amostra determinada por um pêndulo martelo.



Fig.11- Ensaio de Resistência ao Impacto Charpy – Norma ISO 179

1.Cálculo de Resistência ao Impacto Charpy em provetes sem entalhes (a_{cu}) –

Energia de impacto absorvida na rotura de um provete sem entalhes, referido à superfície inicial da sua secção transversal.

Expressa por KJ/m²

$$a_{cu} = \frac{W}{h \bullet b} \times 10^3$$

a_{cu} – Resistência ao Impacto Charpy em provetes sem entalhes;

W – Energia corrigida, expressa em Jules, absorvida na ruptura do provete;

h – Espessura do provete, em milímetros;

b – Largura do provete, em milímetros;

2.3.4 Capacidade de Inflamabilidade (Flammability)

– UL 94 Classificações HB,V-2,V-1,V0,5V,5VA,5VB

O teste UL 94 faz a comparação de materiais plásticos em termos do seu comportamento à chama. Dá-nos a indicação da velocidade relativa de queima, ou da capacidade de autoextinção do fogo.



A. Teste de Chama Horizontal HB (Horizontal Burning)

Descrição do Teste de acordo com Norma UL94

Tamanho da Amostra : $125 \pm 5 \times 13 \pm 0,2$

Espessura: $\pm 0,8; \pm 1,6; \pm 3,2; \pm 6$
O Provete tem linhas de marca de 25 e 100 mm até ao fim do provete

Pré-Tratamento 48 h / 23°C/ 50 RH

Queimador Bico de “Bunsen” 9,5 mm Ø, 100 mm de comprimento

Tamanho da Chama 25 ± 2 mm

Tempo de Contacto 30 s

Gás Utilizado Gás Metano ou outro gás inerte com a capacidade calorífica de 37 MJ/m^3

Esquema De acordo com a figura 1

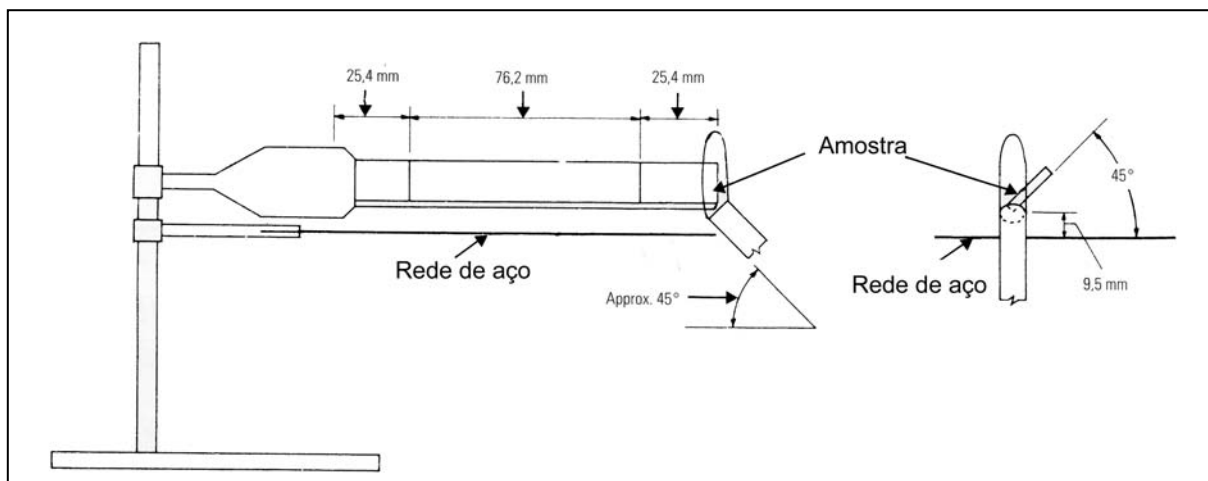


Fig.12- Teste de Chama Horizontal (Horizontal Burning) para classificação 94 HB

A taxa HB é fixada quando a taxa de queima, medida entre 2 linhas marca, não excede:

- 38,1 mm/min para provetes de 3,2 mm de espessura
- 63,5 mm/min para provetes de espessura < 3,2 mm

Em qualquer dos casos, o provete de ensaio deverá apagar-se antes de chegar à linha marca de 100 mm.

B. Teste de Chama Vertical V (Vertical Burning) – V2; V1;V0

Descrição do Teste de acordo com Norma UL94

Tamanho da Amostra : $125 \pm 5 \times 13 \pm 0,2$

Espessura: $\pm 0,8; \pm 1,6; \pm 3,2; \pm 6 \dots$
O Provede tem linhas de marca de 25 e 100 mm até ao fim do provede

Pré-Tratamento Em 2 Jogos de amostras
1. Um jogo de 5 provetes de teste condicionadas 48 h a 23°C , 50 % RH
2. Outro Jogo de 5 provetes de teste condicionados 168 h a 70°C (RH não definido)

Queimador Bico de “Bunsen” 9,5 mm Ø, 100 mm de comprimento

Tamanho da Chama 25 ± 2 mm

Gás Utilizado Gás Metano ou outro gás inerte com a capacidade calorifica de 37 MJ/m^3

Nº de Aplicações de Chama 2 X 10 s

Esquema De acordo com a figura 2

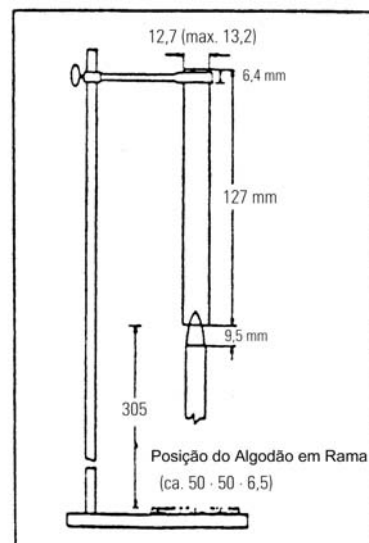


Fig.13- Teste de Chama para amostras sólidas de acordo com UL94 (1976)

Tabela 1 – Tabela de Classificação de testes de Chama segundo tempo

Classificação:	UL V-0	V-1	V-2
Tempo Máximo de Chama para uma amostra singular	≤ 10 s	≤ 30 s	≤ 30 s
Tempo Máximo de Chama para um total de 5 amostras	≤ 50 s	≤ 250 s	≤ 250 s
Gotejamento provocando ignição no algodão	não	não	sim
Tempo de Chama após retirar chama	≤ 30 s	≤ 60 s	≤ 60 s
Reacendimento após retirar chama	não	não	não

Assim, no total, a chama é aplicada 2 vezes nos 5 provetes de teste, que nos dá 10 valores por conjunto de provetes; 2 conjuntos, com um acondicionamento diferente, verificamos que dá-nos no total 20 resultados por material.

O teste de 5 provetes testes é permitido se no teste de 1 provete o tempo de máximo de queima para uma amostra singular ou o Tempo Total de Queima de 1 conjunto exceder o valor requisitado em menos de 5s. (V-0 = 55 s ; V-1,V-2 = 255 s).

C. Teste de Chama Vertical (Vertical Burning Test) – 5V, 5VA;5VB

Descrição do Teste de acordo com Norma UL

Tamanho da Amostra :	127 X 12,7 mm (espessura de acordo com especificada no cartão amarelo) Placas: 152 X 152 mm (idem)
Pré-Tratamento	Em 2 Jogos de amostras 1. 5 Provetes ou 3 placas condicionadas 48 h a 23°C, 50 % RH 2. 5 provetes ou 3 placas condicionados 168 h a 70°C (RH não definido)
Queimador	Bico de “Bunsen” 9,5 mm Ø, 100 mm de comprimento
Tamanho da Chama	127 (Tamanho da Chama azul 38mm)
Gás Utilizado	Gás Metano ou outro gás inerte com a capacidade calorífica de 37 MJ/m ³
Posição das Amostras	Provetes: Vertical Placas: Horizontal
Tempo de Contacto	5 x 5 segundos com intervalos de 5 segundos (provetes e placas)
Esquema	De acordo com a figura 2

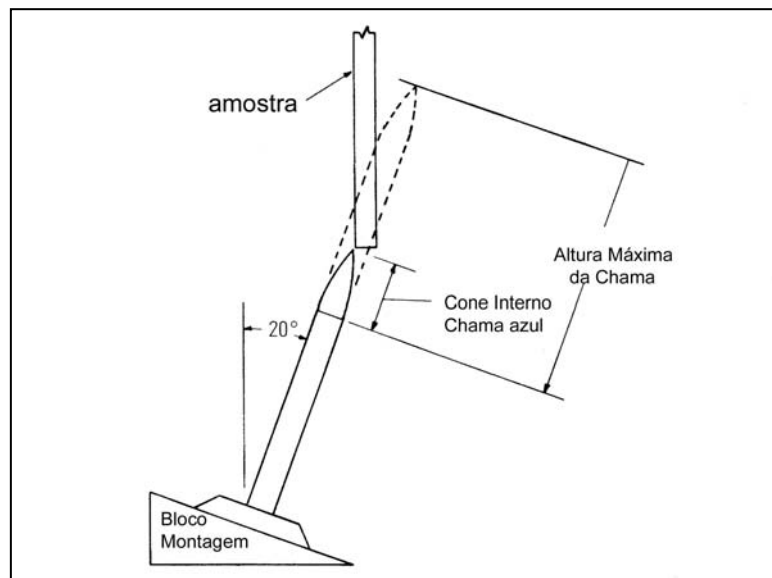


Fig.14- Teste de Chama Vertical para a classificação de UL94–5V

Classificação 5V :

1. Não arde nem incendeia – 60 s após retirar a chama
 2. Não goteja
 3. Destruição da amostra não é significativa no sitio onde a chama incidiu
- È necessário testar com um conjunto de amostras se o teste de uma amostra falhar.

Classificação 5VA (barras e chapas) :

1. Não arde nem incendeia – 60 s após retirar a chama
 2. Não incendeia no algodão devido a gotejamento
 3. Não pode ter furos ou reentrâncias nos provetes amostra
- È necessário testar com um conjunto de amostras se o teste de uma amostra falhar.

Classificação 5VB (barras e chapas) :

1. Não arde nem incendeia – 60 s após retirar a chama
 2. Não incendeia no algodão devido a gotejamento
 3. Furos ou reentrâncias são aceitáveis
- È necessário testar com um conjunto de amostras se o teste de uma amostra falhar.

Comparativo entre os testes referidos atrás (HB;V-0;V-1;V-2;5VA;5VB)

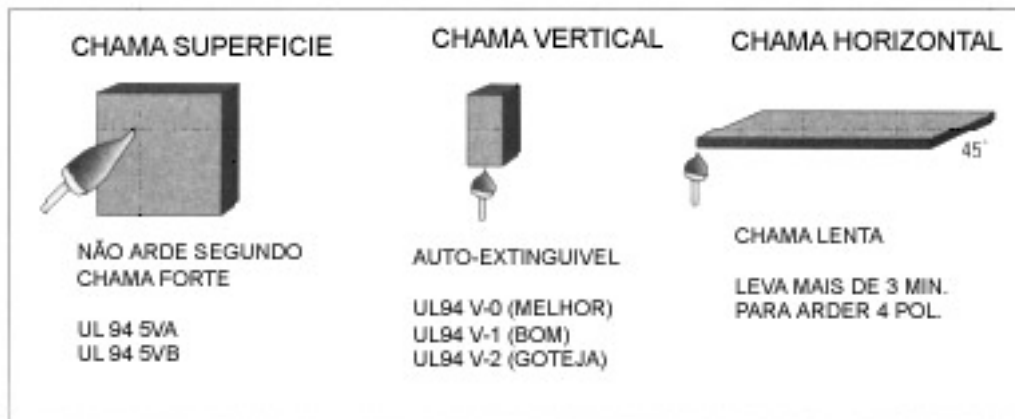


Fig.15- Comparativo entre Testes de Chama segundo classificação de UL94

Tabela 2 – Tabela de Comparação de testes de Chama segundo norma UL94

5VA Chama Directa Em Superfície	A Chama pára nos 60 segundos seguintes após 5 aplicações de 5 segundos de cada chama (chama maior do que a usada no teste de chama vertical) para cada provete.As amostras(provetes) não devem ter reentrâncias.(ex.furos) Este é o teste de chama mais agressivo segundo a UL94
5VB Chama Directa Em Superfície	A Chama pára nos 60 segundos seguintes após 5 aplicações de 5 segundos de cada chama (chama maior do que a usada no teste de chama vertical) para cada provete.As amostras(provetes) devem ter reentrâncias.(ex.furos)
V0 Chama Directa Vertical	A Chama pára nos 10 segundos seguintes após 2 aplicações de 10 segundos de chama na amostra.Não é permitido o gotejar nesta classificação
V1 Chama Directa Vertical	A Chama pára nos 60 segundos seguintes após 2 aplicações de 10 segundos de chama na amostra.Não é permitido o gotejar nesta classificação
V2 Chama Directa Vertical	A Chama pára nos 60 segundos seguintes após 2 aplicações de 10 segundos de chama na amostra.É permitido o gotejar nesta classificação
HB Chama Directa Horizontal	Material ardendo lentamente numa amostra de 3mm de espessura com uma taxa de queima inferior a 3 polegadas/min ou parando de arder antes da marca de 5 polegadas.Materiais com a classificação HB são considerados auto-extinguíveis. Este é o teste de chama menos agressivo segundo a norma UL94

2.3.5 Temperatura de Deflecção de peças sob carga – ISO 75

Temperatura de deformação é a temperatura em que as peças segundo uma temperatura e uma carga flectem. Neste caso aumentamos a temperatura e mantemos a peça sob uma determinada carga. A temperatura de deflecção é a temperatura a que o material cede sobre uma determinada carga

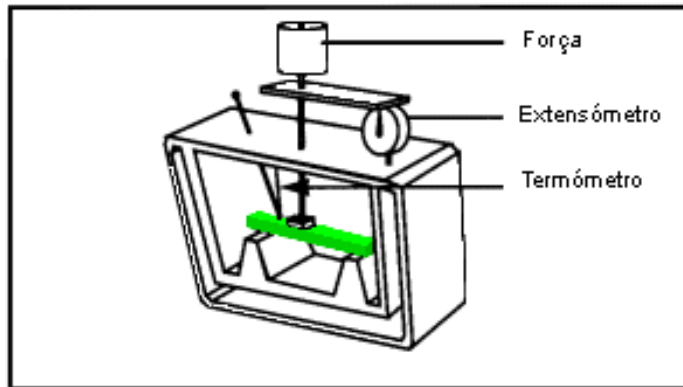


Fig.16- Esquema de Ensaio de Temperatura de deflecção ISO 75-A,B,C

De referir que não houve uma pesquisa das propriedades electricas, visto sabermos à partida pela pesquisa da norma NP EN 12983-1 2001 “Utensilios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa”, que não se aplicariam.

Sendo assim não fazemos referência a nenhuma norma com especificações eléctricas, embora a nível de materiais plásticos elas existam. São o caso:

Tracking Resistance	IEC 60112
Volume Resistivity	IEC 60093
Surface Resistivity	IEC 60093
Dielectric Strength (1mm)	IEC 60243
Loss Factor tg delta (1MHz)	IEC 60250
Dielectric constant (1MHz)	IEC 60250

2.3.6 Índice de Oxigénio – ISO 4589

O Índice de Oxigénio é o valor mínimo de concentração de oxigénio numa mistura (fluxo) de oxigénio e nitrogénio que vão suportar o fenómeno de combustão.

Descrição do Ensaio

Amostra :	70 a 150 mm X 6.5 X 3.0 mm
Nº de Amostras:	10
Procedimento	Amostras são amarradas verticalmente, ignição no topo Constante Aumento de concentração de oxigénio
Aparato:	ver fig.

Significado do ensaio: Normalmente quanto maior for o valor, maior é a resistência do material em começar a arder (ignição) e maior resistência à combustão

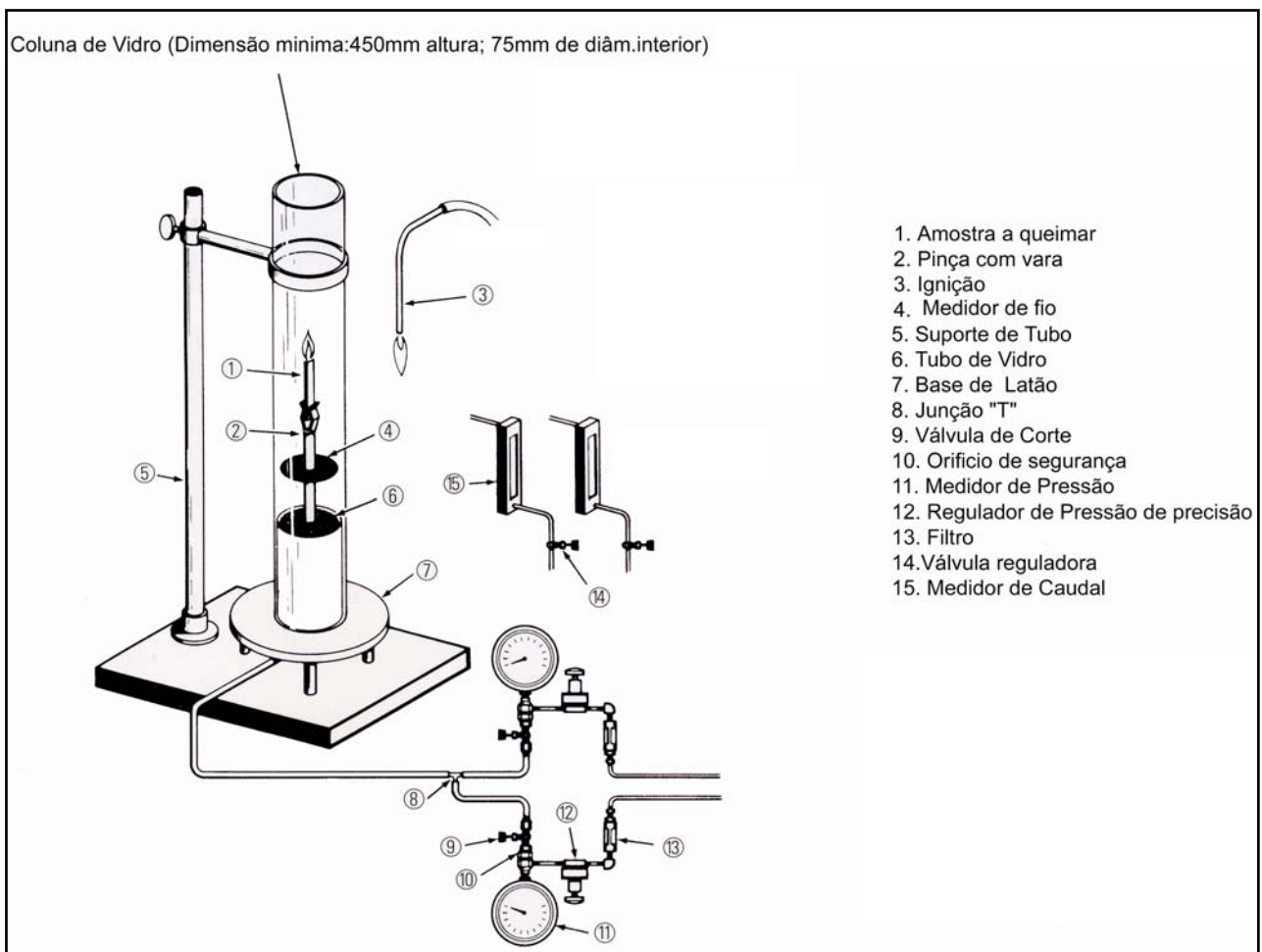


Fig.17- Esquema de Ensaio de cálculo do índice de oxigénio segundo norma ISO 4589

Capitulo III. Fase Experimental

Este capitulo descreve todo o processo experimental da Dissertação. Após uma fase de pesquisa e recolha de informação, passamos a uma fase experimental. Nesta fase vamos encontrar as especificações técnicas para o nosso produto. Com a ajuda de alguns softwares vamos procurar um material que cumpra essas mesmas especificações.

De seguida teremos que validar todo o processo de pesquisa de materiais. A validação foi feita por ensaios de injeção das peças eleitas para estudo e posterior ensaios térmicos e mecânicos que as Normas de Louça metálica impõem.

3.1 Realização de Procedimento de Teste de Materiais

Inicialmente, e para todo o processo de pesquisa, validação do material ou materiais , procede-se à execução de um procedimento de trabalho. Desta forma permite de uma forma ordenada, poder seguir fase a fase pesquisar, testar, validar sem que a informação obtida não se perca ou se torne confusa, e que tivesse sempre um “fio condutor” na procura do material. Em baixo o fluxograma explica todo o procedimento efectuado.

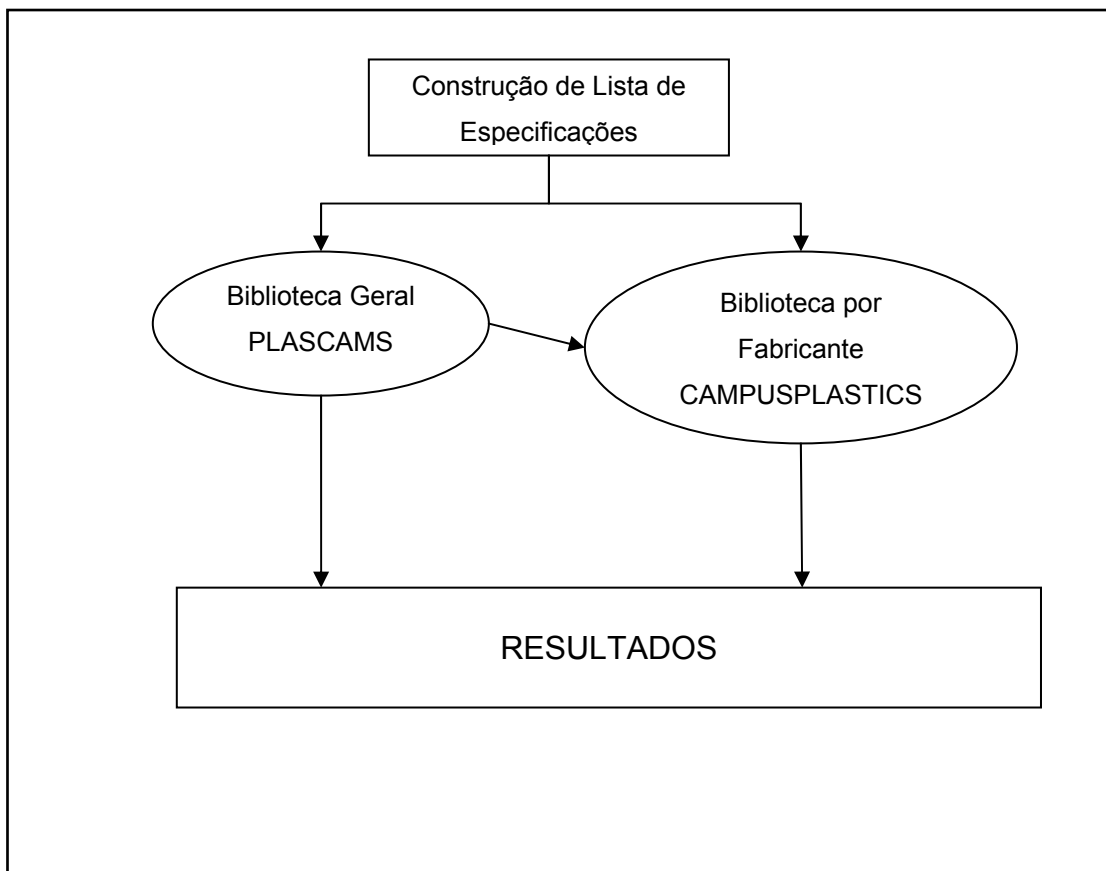


Fig.18- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 1

3.1.1 Construção da Lista de Especificações

A Lista de Especificações surgiu do cruzamento das especificações da Norma de Louça Metálica - NPEN 12983-1 e das normas de testes de materiais. As normas de Louça Metálica são as normas de referência e aquelas que obrigatoriamente os acessórios têm que cumprir. É lógico que os acessórios serão feitos num material termoplástico cumprindo testes de chama, térmicos, mecânicos, eléctricos, outros que já foram referidos no capítulo II. Na Norma NPEN 12983-1, como vimos no capítulo anterior, temos essencialmente propriedades térmicas (Anexo A e B) e propriedades Mecânicas (Anexo C, D e E). A construção da lista para introdução nas bases de dados de materiais não se limita a essas propriedades, de seguida vamos listar as propriedades a introduzir na Base de Dados da Biblioteca CAMPUS e seu grau de importância para o nosso problema.

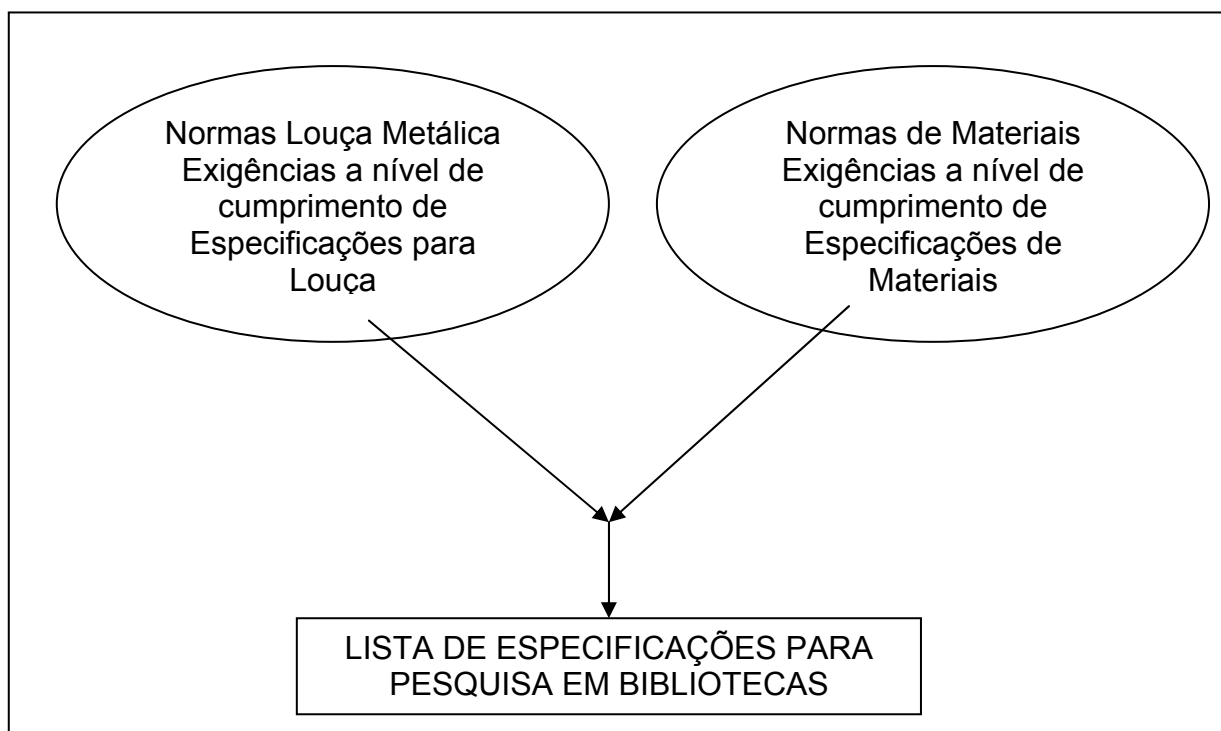
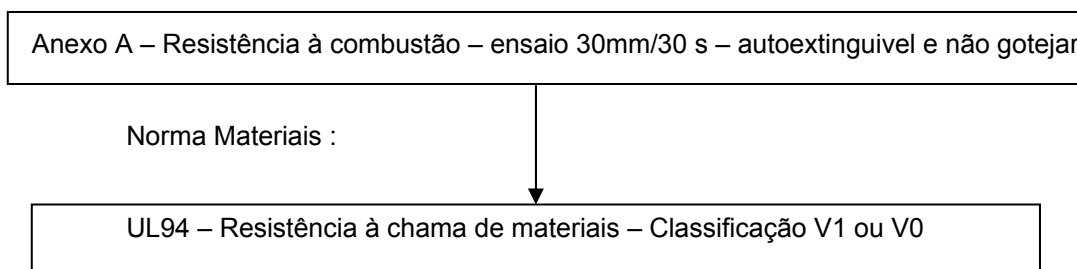


Fig.19- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 1a

Em Baixo exemplifica-se a forma de “cruzamento” de normas de louça com as normas de materiais.

Ex:

Norma Louça Metálica NP EN 12983 -1 2001 “Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa”



Em baixo encontram-se as fichas de especificações. As tabelas de especificações são divididas em especificações térmicas, mecânicas, reológicas, eléctricas, material, aditivos e características especiais.

Tabela 3 – Tabela de Especificações Térmicas

Térmicas	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Melting Temperature (10°C/min)	°C	Alto	ISO 11357-1	150
Glass transition temperature (10°C/min)	°C	Alto	ISO 11357-1	150
Temp.of deflection under load (1,80 Mpa)	°C	Alto	ISO 75-A	150
Temp.of deflection under load (0,45 Mpa)	°C	Alto	ISO 75-B	150
Temp.of deflection under load (8,00 Mpa)	°C	Alto	ISO 75-C	150
Vicat softening temperature (50°C/h 50N)	°C	Alto	ISO 306	150
Coeff.of linear therm.expansion (parallel)	E-4/°C	Alto	ISO 11359-1	-
Coeff.of linear therm.expansion (normal)	E-4/°C	Alto	ISO 11359-1	-
Burning Behav. at 1,6 mm nom.thickn.	class	Alto	IEC 60695-11	V0 ou V1
Burning Behav.at thickn. H	class	Alto	IEC 60695-11	V0 ou V1
Burning Behav. 5V at thickn. H	class	Alto	IEC 60695-11	-
Oxygen index	%	Alto	ISO 4589-1	-

Tabela 4 – Tabela de Especificações Mecânicas

Mecânicas	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Tensile modulus	Mpa	Médio	ISO 527-1	-
Yield Stress	Mpa	Médio	ISO 527-1	-
Yield Strain	%	Médio	ISO 527-1	-
Nominal Strain at break	%	Médio	ISO 527-1	-
Stress at 50% break	Mpa	Médio	ISO 527-1	-
Stress at break	Mpa	Médio	ISO 527-1	-
Strain at break	%	Médio	ISO 527-1	-
Tensile creep modulus (1h)	Mpa	Médio	ISO 899-1	-
Tensile creep modulus (1000h)	Mpa	Médio	ISO 899-1	-
Charpy impact strength (23°C)	KJ/m ²	Médio	ISO 179/1	-
Charpy impact strength (-30°C)	KJ/m ²	Médio	ISO 179/1	-
Charpy notched impact strength (23°C)	KJ/m ²	Médio	ISO 179/1	-
Charpy notched impact strength (-30°C)	KJ/m ²	Médio	ISO 179/1	-
Tensile notched impact strength (23°C)	KJ/m ²	Médio	ISO 8256/1	-
Puncture - maximum force (23°C)	N	Médio	ISO 6603-2	-
Puncture - maximum force (30°C)	N	Médio	ISO 6603-2	-
Puncture energy (23°C)	J	Médio	ISO 6603-2	-
Puncture energy (-30°C)	J	Médio	ISO 6603-2	-

Tabela 5 – Tabela de Especificações Reológicas

Reológicas	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Melt-Volume-Flow Rate	cm ³ /10min	Baixo	ISO 1133	-
Molding Shrinkage (parallel)	%	Baixo	ISO 2577	-
Molding Shrinkage (normal)	%	Baixo	ISO 2577	-

De referir ainda que nas tabelas foram atribuídos diferentes graus de importância para as diversas características. As classificações do grau de importância foi efectuada desde o grau de importância baixo até o grau de importância Alto. Os graus de importância atribuídos foram baixo, médio, alto e não aplicável. Os graus de importância foram atribuídos mediante a importância que cada especificação comporta no produto. Por exemplo as especificações térmicas foram classificadas com o grau de importância alto. Estas especificações são obrigatórias. Propriedades reológicas tais como contracção têm uma importância baixa e propriedades ou características eléctricas não são aplicáveis.

Tabela 6 – Tabela de Especificações Eléctricas

Eléctricas	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Relative permittivity (100 Hz)	E-4	Não Aplicável	IEC 60250	-
Relative permittivity (1 MHz)		Não Aplicável	IEC 60250	-
Dissipation factor (100Hz)		Não Aplicável	IEC 60250	-
Dissipation factor (1MHz)		Não Aplicável	IEC 60250	-
Volume Resistivity	Ohm*m	Não Aplicável	IEC 60093	-
Surface Resistivity	Ohm	Não Aplicável	IEC 60093	-
Electric Strength	KV/mm	Não Aplicável	IEC 60243-1	-
Comparative tracking index		Não Aplicável	IEC 60112	-

Tabela 7 – Tabela de Especificações Específicas de Material

Material	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Viscosity number	cm ³ /kg	Baixo	ISO 307,1157,1628	-
Indicative density (PE only)	kg/m ³	Baixo	ISO 1872-1	-

Tabela 8 – Tabela de Especificações de Aditivos

Aditivos	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Blowing agent	-	Não Aplicável	-	-
Lubrificants	-	Baixo	-	-
Antiblocking agent	-	Baixo	-	-
Release agent	-	Baixo	-	-
Metal deactivator	-	Baixo	-	-
Flame retarding agent	-	Alto	-	-
Plasticizer	-	Alto	-	-
with fillers	-	Alto	-	-
without fillers	-	Alto	-	-

Tabela 9 – Tabela de Especificações de Características Especiais

Características Especiais	Unidades	Grau de Importância	Norma	Valor
Transparent	-	Médio	-	-
Increased electrical conductivity	-	Baixo	-	-
Anti-static	-	Baixo	-	-
Flame retardant	-	Alto	-	-
Platable	-	Médio	-	-
High impact or impact modified	-	Médio	-	-
Light stabilised or stable to light	-	Médio	-	-
U.V. Stabilised or stable to weather	-	Médio	-	-
Heat stabilised or stable to heat	-	Médio	-	-

3.1.2 Pesquisa de Materiais nas Bases de Dados Informáticas

3.1.2.1 Pesquisa na Base de Dados PLASCAMS

As Bibliotecas de materiais são nem mais nem menos que bases de dados informáticas com as características (especificações) térmicas, mecânicas, eléctricas, especiais, outras...

Por estarem em bases de dados informáticas permitem-nos introduzir as variáveis de entrada de especificações produzindo o computador uma resposta por critério de entrada nos materiais existentes.

As bases de dados informáticas de materiais usadas foram a PLASCAMS V7 e a CAMPUSPLASTICS. A PLASCAMS permite-nos obter resultados de todos os fabricantes de polímeros, enquanto que a CAMPUSPLASTICS só nos permite pesquisar materiais por cada fabricante.

Sendo assim optou-se por fazer uma pesquisa inicial na PLASCAMS e depois baseado nos resultados obtidos na PLASCAMS, pesquisar por fabricante na CAMPUSPLASTICS. (ver fig.6 – Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 1).

A pesquisa efectuada na Biblioteca PLASCAMS foi efectuada na secção de materiais Termoplásticos.

Como se pode ver na figura em baixo a pesquisa na base de dados PLASCAMS faz-se com a introdução de critérios de pesquisa (ex: Resistência à chama – Flammability UL94), em que introduzimos o intervalo de pesquisa dos nossos critérios (ex: na resistência à chama classificação V1 a V0 segundo norma UL94). Como se pode observar pela figura em certos critérios os critérios limite são dados numa escala de 0 a 9. Por exemplo no caso do critério de o material ter que ser processado por injeção colocamos o intervalo de pesquisa de 3 a 9. Isto representa um intervalo moderado. Se colocasse o intervalo de 0 a 9 seriam apresentados todos os materiais que fossem ou não processados por injeção. Se colocasse o intervalo de 9 a 9, todos os materiais que seleccionados eram processados por injeção.

Use in Search	Search Properties	Use Specific Values	Search Limits Min	Search Limits Max	Units/Qualifiers	No. of suitable mats
<input checked="" type="checkbox"/>	Flammability	<input checked="" type="checkbox"/>	V1	V0	UL94	80
<input checked="" type="checkbox"/>	Maximum operating temp.	<input checked="" type="checkbox"/>	150		deg C (< 2Hrs)	69
<input checked="" type="checkbox"/>	Injection moulding	<input checked="" type="checkbox"/>	3	9		249
<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>						
<input type="checkbox"/>						

Ready

Total number of materials matching selected criteria : 38

Fig.20- Figura de Menu de Pesquisa de materiais na base de dados PLASCAMS

No caso do critério de modo de processamento, escolheu-se atribuir um intervalo moderado, visto poder existir materiais que fossem processados por injeção/compressão ou compressão que fosse interessante o seu estudo.

De referir ainda o número de materiais que cumprem cada critério e que cumprem os critérios escolhidos.

Foram efectuadas várias pesquisas e numa primeira fase foi necessário experimentar vários critérios e não restringir por completo os critérios de entrada. Os resultados das pesquisas efectuadas encontram-se no anexo I.

Os Resultados obtidos numa última pesquisa à biblioteca de polimeros PLASCAMS, de acordo com os critérios acima descritos – tabela de especificações foi a seguinte:

Tabela 10 – Tabela de Materiais seleccionados na biblioteca PLASCAMS

Escolha por Critério de Eliminação				
Propriedades		Vmin	Vmax	Unidades/Norma
1 Flammability		V1	V0	UL94
2 Maximum operating temp.		150		deg C (< 2Hrs)
3 Injection moulding		3	9	RVs
Materials :		Termoplásticos		
Nºde Materiais na Lista:		271		
Materiais Aceitáveis :		16		
Lista de Materiais que cumprem critérios				
PBT (20% glass fibre reinforced; fire retardant)				
PBT (30% glass fibre reinforced; fire retardant)				
PBT (45% mineral & glass filled)				
PBT (fire retardant)				
PES (20% glass fibre reinforced)				
PES (30% glass fibre reinforced)				
PET (30% gfr - fire ret.)				
PET (45% min/gfr - fire ret.)				
PA				
PA (15% glass fibre reinforced)				
PA (30% glass fibre reinforced)				
Polyarylate				
Polyetherimide (30% glass fibre reinforced)				
Polysulphone				
Polysulphone (10% glass fibre reinforced)				
Polysulphone (15% PTFE lubricated)				
Polysulphone (30% glass fibre reinforced)				
PPS (40% glass fibre reinforced)				
PPS (glass fibre & bead reinforced)				
Polyimide				
Polyimide (25% graphite lubricated)				
Polyimide (40% glass fibre reinforced)				
Polyimide (molyb. disulphide lubricated)				
Polyimide (PTFE lubricated)				
PAI				
PAI (glass fibre reinforced)				
PAI (graphite filled)				

3.1.2.2 Pesquisa Na Biblioteca CAMPUSPLASTICS

Após termos obtido uma lista de materiais na biblioteca PLASCAMS que satisfazem as especificações, efectou-se uma pesquisa na biblioteca CAMPUSPLASTICS nos diversos fabricantes de materia prima dentro das familias de polimeros referidas. Esta pesquisa permite-nos saber quais os graus dentro de uma material mais adequado às especificações. Esta pesquisa permite ainda que em algum fabricante se possa encontrar materiais novos que ainda não estão nas listas da PLASCAMS. Será também uma forma de primeiro contacto com os fornecedores de matéria prima, visto que a biblioteca comporta os contactos dos mesmos.

Como se pode observar na figura abaixo ,inicialmente introduz-se o fabricante de materia prima que foi obtido por internet (www.campusplastics.com) se estiver disponível para aquele fabricante. Este quadro permite ainda ver a data de actualização da lista, assim como a sua versão.

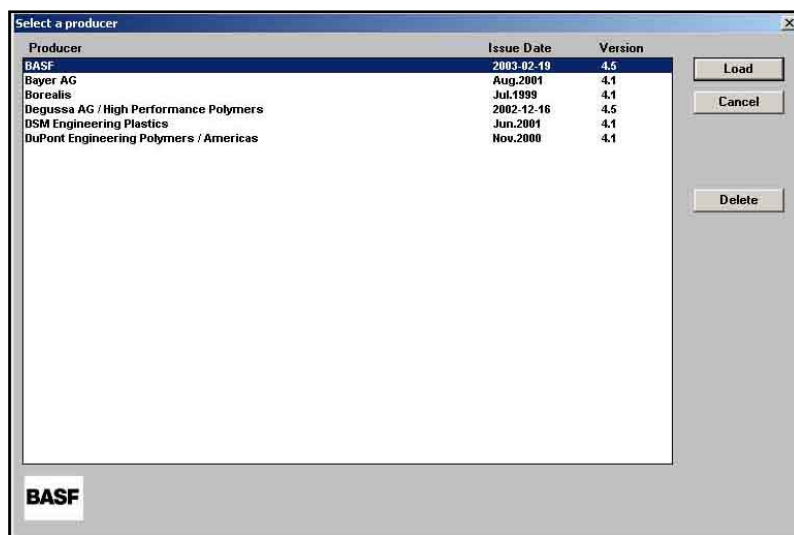


Fig.21- Figura de Escolha de Fabricante na Biblioteca CAMPUSPLASTICS

Após termos escolhido o fabricante sobre o qual queremos pesquisar um material que satisfaça a tabela das nossas especificações, vamos introduzir a nossa lista de especificações (“Search Profile”)

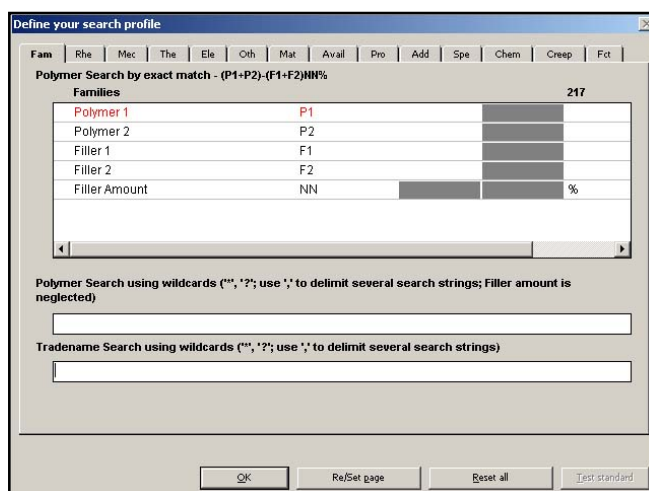


Fig.22- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus

À semelhança da biblioteca PLASCAMS, após introduzirmos os critérios de selecção (especificações), o software fornece-nos a lista de materiais para o respectivo fabricante que cumpra essas mesmas especificações. Informa também, para cada critério o numero de materiais existentes e para o conjunto de especificações.

Como se pode ver na figura em baixo as especificações que se pode introduzir são:

- Características de Família de polímeros
- Características Reológicas
- Características Mecânicas
- Características Térmicas
- Características Eléctricas
- Outras Características tais como absorção de água, absorção de humidade
- Características de Materiais
- Locais onde está disponível
- Tecnologia de Processamento
- Aditivos
- Características Especiais

Define your search profile			
Fam Rhe Mec The Ele Oth Mat Avail Pro Add Spe Chem Creep Fct			
Thermal properties			
Melting temperature	(10°C/min)	150	150 °C
Glass transition temperature	(10°C/min)		°C
Temp. of deflection under load	(1.80 MPa)		°C
Temp. of deflection under load	(0.45 MPa)		°C
Temp. of deflection under load	(8.00 MPa)		°C
Vicat softening temperature	(50°C/h 50N)		°C
Coeff. of linear therm. expansion	(parallel)		E-4/°C
Coeff. of linear therm. expansion	(normal)		E-4/°C
Burning Behav. at 1.6mm nom. thickn.			class
Burning Behav. at thickness h			class
Burning Behav. 5V at thickn. h			class
Oxygen index			%

OK Re/Set page Reset all Test standard


Fig.23- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus

A tabela em baixo mostra o resultado de materiais e graus de materiais para o caso do fabricante BASF. Os resultados e características de materiais obtidos pela pesquisa na biblioteca CAMPUSPLASTICS com os critérios referidos atrás encontram-se no anexo IV. Após se obter a tabela de materiais que cumprem os requisitos estabelecidos, podemos ver todas as características desse mesmo material, assim como as características dos seus diferentes graus.

Tabela 11 – Tabela de Materiais seleccionados na biblioteca CAMPUSPLASTICS fabricante BASF

11 grades	Polymer	Class	T _m	T _g	T _{1.8}	B50/1.6	B50/-
Ultramid® 1C	(dry) (cond) (PA6+PA66)...	-	*	*	*	*	*
Ultramid® B3EG2	(dry) (cond) PA6-GF10	-	*	*	*	*	*
Ultramid® B3G6 Q205	(dry) (cond) PA6-GF30	-	*	*	*	*	*
Ultramid® B4FN Q99	(dry) (cond) PA6	-	*	*	*	*	*
Ultramid® C35FN	(dry) (cond) (PA6+PA66)	-	*	*	*	*	*
Ultrason® E 2010 G4	(dry) (cond) PES-GF20	*	*	225	212	V-0	V-0
Ultrason® E 2010 G6	(dry) (cond) PES-GF30	*	*	225	212	V-0	V-0
Ultrason® E 2020 P	(dry) (cond) PES	-	*	225	*	*	*
Ultrason® E 6020 P	(dry) (cond) PES	-	*	225	*	*	*
Ultrason® KR 4113	(dry) (cond) PES-CF10...	*	*	225	212	*	*
Ultrason® S 6010	(dry) (cond) PSU	*	*	187	173	*	*

Como mostra a figura em baixo a base de dados no final fornece-nos toda a informação do material e do grau pretendido. A informação sobre os materiais e o graus escolhidos encontram-se no anexo IV.



VESTODUR HI19-GF30-FR2 nf - PBT			
Rheological properties			
Melt volume-flow rate		4	cm ³ /10min
Temperature		250	°C
Load		2.16	kg
Molding shrinkage	(parallel)	*	%
Molding shrinkage	(normal)	*	%
Thermal properties			
Melting temperature	(10°C/min)	-	°C
Glass transition temperature	(10°C/min)	-	°C
Temp. of deflection under load	(1.80 MPa)	160	°C
Temp. of deflection under load	(0.45 MPa)	190	°C
Temp. of deflection under load	(8.00 MPa)	*	°C
Vicat softening temperature	(50°C/h 50N)	165	°C
Coeff. of linear therm. expansion	(parallel)	0.3	E-4/°C
Coeff. of linear therm. expansion	(normal)	0.4	E-4/°C
Burning Behav. at 1.6mm nom. thickn.		V-0	class
Thickness tested		1.5	mm
UL recognition		-	-
Burning Behav. at thickness h		V-0	class
Thickness tested		3	mm
UL recognition		-	-

All data is subject to the producer's disclaimer
 CAMPUS 4.5 - Degussa AG / High Performance Polymers (2002-12-16) - Printed: 3-05-03
 Page: 1

Fig.24- Figura de Introdução de Lista de especificações na biblioteca campus

3.1.3 Ensaio de Injecção dos materiais seleccionados

Após ter-se os resultados da Biblioteca Geral PLASCAMS e da biblioteca por fabricante CAMPUSPLASTICS, efectou-se o contacto com os fornecedores das matérias primas escolhidas para Injectar se possível os respectivos materiais e submeter os mesmos aos testes da norma NP EN 12983 – 1 2001 “ Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa “, como se demonstra no fluxograma da figura abaixo. No fundo a partir desta fase tentar validar a selecção de materiais efectuada. De referir ainda na filtragem de resultados encontra-se a opinião do orientador de dissertação e a opinião dos fornecedores de matéria e a disponibilidade dessas mesmas matérias primas.

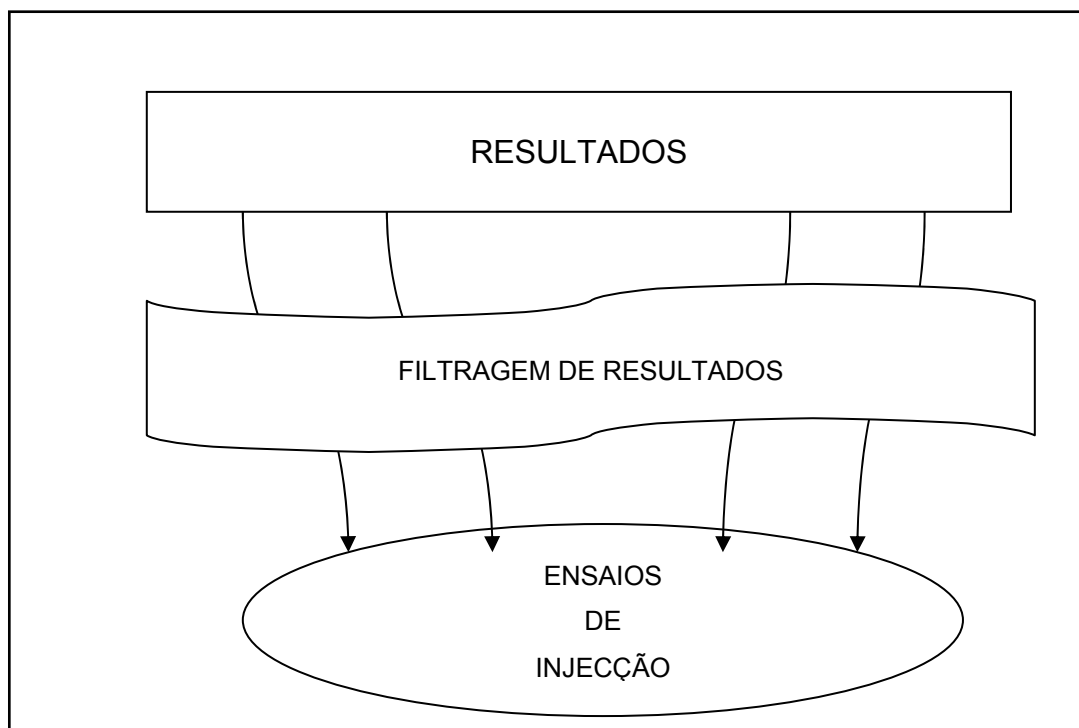


Fig.25- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 2

Após filtragem dos resultados, obtemos a seguinte lista de materiais para teste:

Polietermida – ULTEM – General Electric
Poliamida 66 – TECHNYL – Rhodia
Polibutileno Tereftalato – CRAFTIN – Dupont
Policarbonato – MAKROLON – Bayer
Polisulfona – MINDEL – Solvay

De seguida descreve-se os ensaios de injecção dos materiais seleccionados, assim como as condições em que foram injectados.

Visto que não haveria tempo de construção de um molde para a injecção das peças, optou-se por injectar as peças em moldes existentes de termoendurecíveis. De notar que estes moldes não estão adaptados para a injecção de termoplástico quer em termos de geometria da peça, quer em termos de arrefecimento.

Como o que interessa é obter uma série no máximo 30 peças, os molde actuais servem perfeitamente. Trata-se de ensaio e não de produção em série. Ao pensar em produção em série ter-se-á que reformular a geometria da peça – regularização de espessuras para evitar defeitos como “chupados”, empenos e ter-se-á obviamente que construir moldes adequados para injeção de termoplásticos.

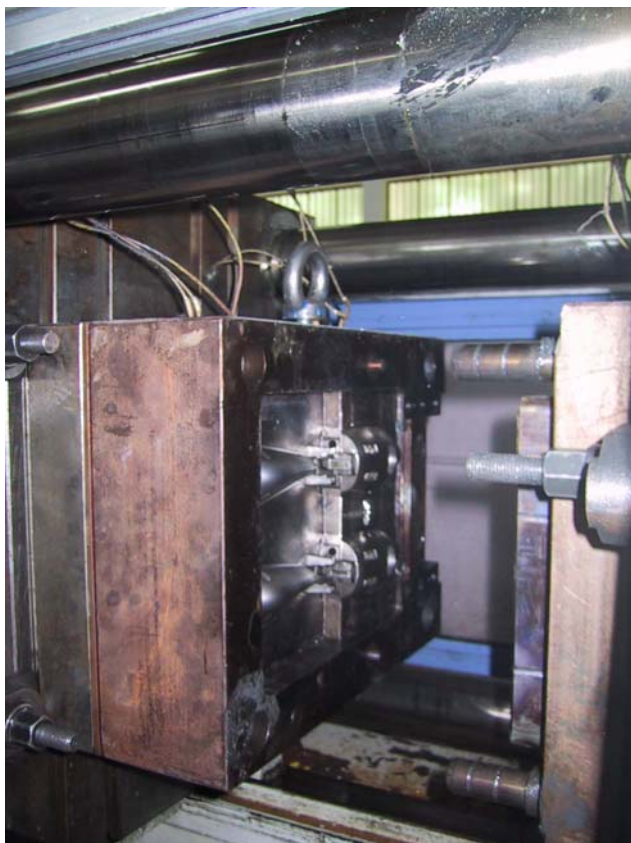




Fig.26- Molde de Injecção em ensaios de injecção

O que se pensou efectar foi numa primeira fase, injectaria-se os materiais seleccionados e fornecidos pelos fornecedores de matéria prima em moldes existentes para testes de temperatura, de chama e testes mecânicos e numa 2ª Fase, através da construção de um molde , injectaria-se os materiais nas condições ideais. Estas condições ideais, são a geometria de peça adequada para termoplásticos com o objectivo de evitar defeitos, o molde adequado para injeção de termoplástico e parâmetros de máquina adequados. De seguida mostra-se um exemplo das fichas de registo de parâmetros de ensaio. Para cada peça injectada, foram registados os parâmetros de ensaio e servem para se ter uma primeira ideia dos parâmetros de injeção, visto não se estar perante um molde adequado e uma geometria de peça adequada. Estas fichas de registo de parâmetros encontram-se no anexo III.

Tabela 12 – Tabela de Registo de parâmetros de ensaio

RELATÓRIO DE ENSAIO - REGISTO DE PARAMETROS					
Nº Teste	1	Data:	06-05-2003		
Refª Molde	Cabo Superior Simple				
Nº de Cavidades	2	Tempo Total Ensaio	2 Horas		
Dados Máquina e Material:					
Máquina	BATTENFELD BA 1500 630				
Força de Fecho	150 TON.				
Diâmetro do Fuso	Ø 45 mm				
Ref.Material	ULTEM 1000F				
Cor	Natural				
Tempo de Estufa	5 Horas				
Temperatura Estufa	150°C				
Temperatura Molde	Cavidade	80 °C			
	Macho	80 °C			
	Elementos Móveis	80 °C			
Temperatura Plast.	z1	370 °C			
	z2	370 °C			
	z3	350 °C			
	z4	350 °C			
	z5	-			
	z6	-			
	Bico	365 °C			
					
Parâmetros de Injecção:					
1ª Pressão	1500 bar	Duração	8,7 s	Velocidade	30 cm³/s
2ª Pressão	1420 bar	Duração	15 s	Velocidade	20 cm³/s
3ª Pressão	980 bar	Duração	5 s	Velocidade	20 cm³/s
4ª Pressão	600 bar	Duração	5 s	Velocidade	10 cm³/s
Pressão atestamento	980 bar	Duração	5 s	Velocidade	20 cm³/s
Arrefecimento	50 s				
Contra-Pressão	50 bar				
Veloc.Fuso	130 RPM				
Diâmetro do fuso	45 mm				
Almofada	10 mm				
Sucção	-				
Descompressão do fuso	-				
Tempo de dosagem	29 s				
Contrapressão do fuso	-				
Pausa	-				
Ciclo Total	85 s				
					
Extracção Mecânica					
Curso	37 mm				
Pressão de Avanço	15 KW				
Pressão de Recuo	15 KW				
Velocidade de Avanço	100 mm/s				
Velocidade de Recuo	80 mm/s				
Nº de Golpes	2				
Cota de Avanço	37 mm				

3.1.4 Ensaaios funcionais de acordo com a norma NP EN 12983-1

Após os ensaios de injeção seguiram-se os ensaios de louça metálica segundo Norma NP EN 12983-1, já analisado no capítulo anterior.

Como se pode observar na figura abaixo, os ensaios dividiam-se em dois grupos:

- Ensaaios Funcionais de acordo com a norma NP EN 12983-1
- Ensaaios de durabilidade de acordo com a norma ENV 12875

Os ensaios funcionais efectuados às peças injectadas de acordo com a norma NP EN 12983-1 foram:

- Ensaio de Resistência à combustão
- Ensaio de Resistência ao calor dos acessórios
- Ensaio de Resistência à Torção
- Ensaio de Resistência à Flexão

Os ensaios de durabilidade não foram efectuados, porque o tempo que eles demorariam ultrapassava o tempo desta dissertação, assim como não foram disponibilizados recursos para a execução dos mesmos. Seria interessante a realização destes ensaios em trabalhos futuros.

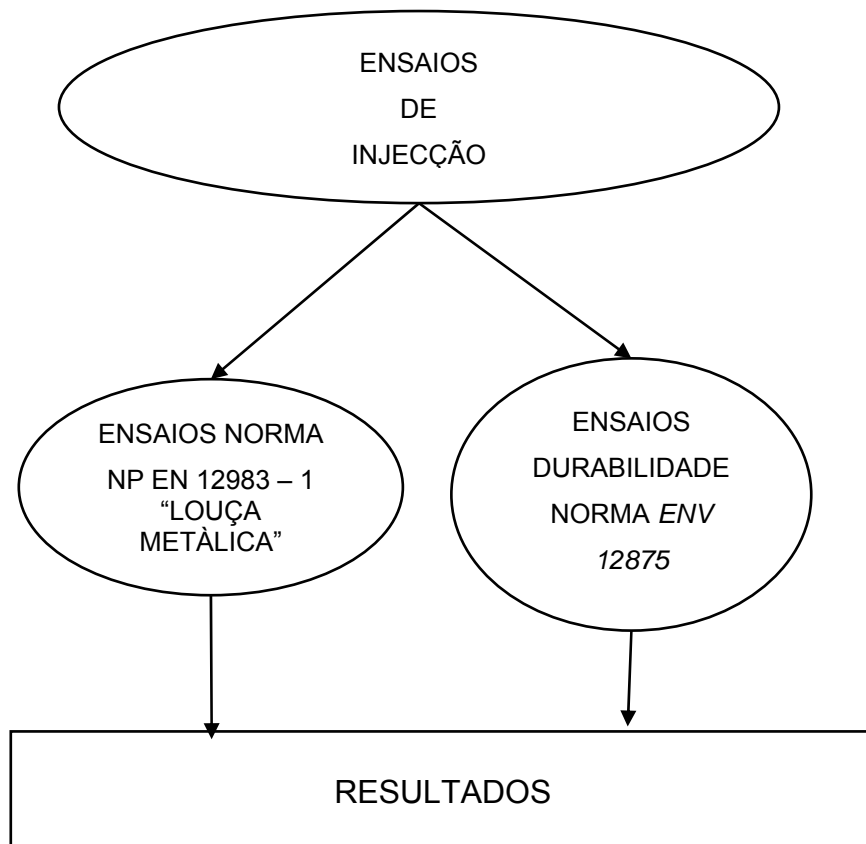


Fig.27- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 3

Os ensaios foram efectuados num laboratório acreditado para ensaiar segundo a Norma NP EN 12983-1. Os Resultados desses ensaios são por isso mesmo a validação ou não dos materiais seleccionados e injectados.

Os Resultados encontram-se no capítulo III – Fase Experimental e no anexo V.

As figuras abaixo mostram os ensaios efectuados.



Fig.28 e 29 - Ensaio de Resistência à combustão e Ensaio de Resistência ao calor dos acessórios



Fig.30 e 31 - Ensaio de Resistência à Flexão e Ensaio de Resistência à Torção dos acessórios

Após os ensaios da Norma NP EN 12983-1 o laboratório acreditado – neste caso o CATIM (Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica) emite um relatório, descrevendo os resultados dos mesmos ensaios assim como a aprovação ou reprovação das peças em conformidade com os requisitos da Norma.

Os relatórios dos ensaios efectuados dos materiais seleccionados, podem ser vistos em pormenor no Cap.III- Fase experimental e no anexo VI.

Em baixo encontra-se a tabela do resumo dos resultados do relatório do laboratório do CATIM (Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica). A tabela resumo mostra o resultado dos ensaios realizados em 11 de Abril de 2003 com o material Polietermida (PEI).

Os ensaios realizados foram o ensaio de resistência à combustão e a resistência ao calor. Como se mostra na tabela e na figura em baixo o material nestes dois ensaios conseguiu estar conforme os requisitos exigidos nos ensaios.

De referir que só foram efectuados estes dois ensaios nesta fase, visto serem considerados os mais exigentes e sabermos que os ensaios mecânicos iriam submeter de uma forma critica a fixação e de uma forma menos gravosa o material. Numa fase posterior e para outros materiais (ex. Poliamida- PA) foram efectuados todos os ensaios da Norma NP EN 12983-1.

Tabela 13 – Tabela de resultados de ensaios para material Polietermida(PEI)

NOTA: Exigências conforme a norma EN 12983-1:2000.

SECÇÃO	RESULTADO	CONCLUSÃO
7 – ACESSÓRIOS		
7.2 Resistência à combustão Uma pega não deve derreter ou fundir de forma a gotejar material em fusão e/ou inflamar quando os ensaios são efectuados de acordo com o anexo A. Qualquer combustão deve ser auto-extinguível dentro de 15 s após a remoção da chama. Após extinta a combustão, o material da pega não deverá reacender espontaneamente.	Ensaio efectuado em 2 zonas (1 e 2), demonstradas na fotografia 2. Zona 1 – O material entrou em combustão, extinguindo-se a chama logo após a sua remoção. Não houve gotejamento do material. Zona 2 - O material entrou em combustão, extinguindo-se a chama após 2 segundos da sua remoção. Não houve gotejamento do material, ficando quebradiço.	CONFORME
7.3 Resistência ao calor Todos os acessórios concebidos para serem ligados ao corpo principal do produto, devem estar isentos de fendas e bolhas após a realização do ensaio descrito no anexo B, a uma temperatura de $(150 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante 1 h. Este requisito não se aplica a características puramente decorativas, incrustações ou frisos termoplásticos por ex.	Ausência de fendas e bolhas após o ensaio.	CONFORME

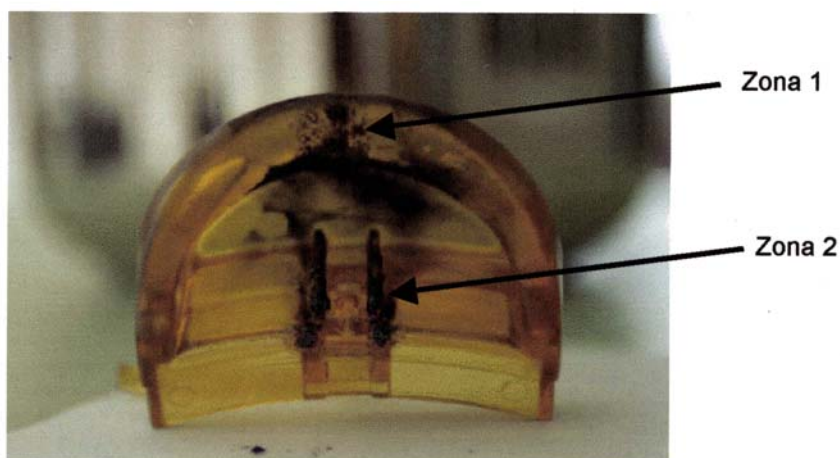


Fig.32 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão

A tabela resumo mostra o resultado dos ensaios realizados em 04 de Junho de 2003 com o material Poliamida (PA).

Os ensaios realizados foram o ensaio de resistência à combustão, resistência ao calor, resistência à torção e resistência à flexão. O ensaio de resistência à fadiga não foi efectuado, visto que seria muito moroso e que não iria trazer resultados para além dos observados nos ensaios de flexão e torção. Mais uma vez esse ensaio iria submeter as fixações dos acessórios, não sendo objecto do nosso estudo a geometria destas.

Os resultados obtidos conforme mostra a tabela nos ensaios de resistência à combustão, resistência ao calor, resistência à torção e resistência à flexão foram de conformidade face aos requisitos da norma.

Tabela 14 – Tabela de resultados de ensaios para material Poliamida(PA)

NOTA: Exigências conforme a norma EN 12983-1:2000.

SECÇÃO	RESULTADO	CONCLUSÃO
7 – ACESSÓRIOS		
7.2 Resistência à combustão Uma pega não deve derreter ou fundir de forma a gotejar material em fusão e/ou inflamar quando os ensaios são efectuados de acordo com o anexo A. Qualquer combustão deve ser auto-extinguível dentro de 15 s após a remoção da chama. Após extinta a combustão, o material da pega não deverá reacender espontaneamente.	Ensaio efectuado na asa e no cabo em 2 zonas (1 e 2), demonstradas na fotografia 2. O material entrou em combustão, extinguindo-se a chama logo após a sua remoção. Não houve gotejamento do material.	CONFORME
7.3 Resistência ao calor Todos os acessórios concebidos para serem ligados ao corpo principal do produto, devem estar isentos de fendas e bolhas após a realização do ensaio descrito no anexo B, a uma temperatura de $(150 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante 1 h. Este requisito não se aplica a características puramente decorativas, incrustações ou frisos termoplásticos por ex.	Ausência de fendas e bolhas após o ensaio.	CONFORME
7.4 Resistência à torção Quando os ensaios são efectuados conforme o anexo C, o movimento da pega (cabo) não deve ultrapassar 10° em ambos os sentidos. Este ensaio não deve provocar nenhum dano que afecte a função da pega (cabo), espelho ou do sistema de fixação.	Movimento do cabo de 1 grau para o lado direito e 3 graus para o lado esquerdo.	CONFORME
7.5 Resistência à flexão Quando submetido aos ensaios descritos no anexo D, o sistema de fixação deve suportar uma força de flexão de 100 N sem enfraquecimento do sistema de ligação, como rebites, solda, etc. Uma deformação ou um enfraquecimento do corpo ou da pega, não deve ser considerado como um enfraquecimento neste ensaio, excepto se a parte enfraquecida fizer parte do sistema de fixação.	Não foi verificado enfraquecimento do sistema de fixação.	CONFORME

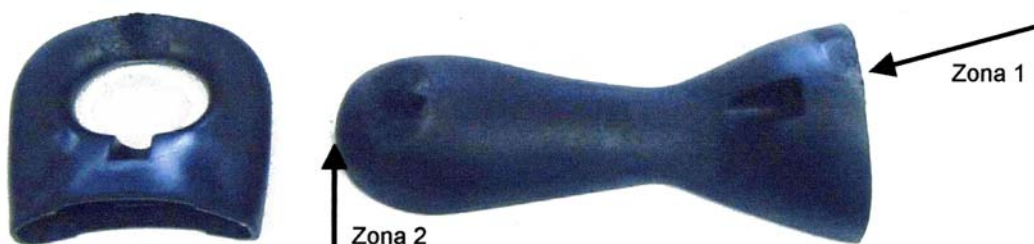


Fig.33 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão

A tabela resumo mostra o resultado dos ensaios realizados em 01 de Outubro de 2003 com o material Polibutileno Tetraftalato (PBT). Os ensaios realizados foram o ensaio de resistência à combustão e resistência ao calor.

Como se mostra na tabela e na figura em baixo o material nestes dois ensaios conseguiu estar conforme os requisitos exigidos nos ensaios. Da mesma forma que ensaios anteriores os ensaios mecânicos que constam na norma não foram efectuados, visto terem um carácter crítico a nível de fixações. O que nos interessava testar era o material e não a geometria da peça ao nível de fixação acessório/corpo da panela. Assim, e como na tabela de especificações os ensaios térmicos estão no nível mais elevado de importância, em todos os ensaios realizados no laboratório acreditado, foram efectuados os ensaios térmicos. Em alguns materiais foram efectuados ensaios mecânicos, confirmando que estes serão críticos ao nível de fixação acessório/corpo da panela e da sua geometria.

Tabela 15 – Tabela de resultados de ensaios para material Polibutileno Tetraftalato(PBT)

NOTA: Exigências conforme a norma EN 12983-1:2000.

SECÇÃO	RESULTADO	CONCLUSÃO
7 – ACESSÓRIOS		
7.2 Resistência à combustão Uma pega não deve derreter ou fundir de forma a gotejar material em fusão e/ou inflamar quando os ensaios são efectuados de acordo com o anexo A. Qualquer combustão deve ser auto-extinguível dentro de 15 s após a remoção da chama. Após extinta a combustão, o material da pega não deverá reacender espontaneamente.	Ensaio efectuado em amostra com material ref ^a PTB e em material ref ^a PTB com 25% FV. O material entrou em combustão, extinguindo-se a chama logo após a sua remoção. Não houve gotejamento do material. O resultado foi semelhante, tendo-se verificado tendo sido a propagação ligeiramente maior com o material ref ^a PTB com 25% FV. Aspecto final das amostras na figura 1.	CONFORME
7.3 Resistência ao calor Todos os acessórios concebidos para serem ligados ao corpo principal do produto, devem estar isentos de fendas e bolhas após a realização do ensaio descrito no anexo B, a uma temperatura de $(150 \pm 5) ^\circ\text{C}$ durante 1 h. Este requisito não se aplica a características puramente decorativas, incrustações ou frisos termoplásticos por ex.	Ensaio efectuado em amostra com material ref ^a PTB e em material ref ^a PTB com 25% FV. Ausência de fendas e bolhas após o ensaio.	CONFORME



Fig.34 – Aspecto da amostra no final do ensaio de combustão

A tabela resumo mostra o resultado dos ensaios realizados em 18 de Dezembro de 2003 com o material Policarbonato (PC6265). Os ensaios realizados foram o ensaio de resistência à combustão, resistência ao calor e resistência à flexão. Como se mostra na tabela e na figura em baixo o material Policarbonato (PC6265) no ensaio de resistência à combustão conseguiu estar conforme os requisitos exigidos nos ensaios. No ensaio de resistência ao Calor não esteve conforme os requisitos da norma, verificando-se deformação da parte inferior. Esta deformação explica-se pelo facto de o “grade” utilizado 6265 ter uma Temperatura de Transição vítrea de 146°C em continuo. Como o nosso ensaio ocorreu a uma temperatura de 150°C durante uma hora o material amoleceu e deu lugar à deformação da peça inferior. De referir que esta não conformidade não é crítica, podendo dentro do mesmo material ter a escolha do grade que satisfaça a temperatura de 150°C, mantendo os restantes requisitos. É o caso do Policarbonato de alta-temperatura (PC-HT DP 1-9389) que garante 185°C em continuo e resistência à combustão segundo a norma UL-94 V0. Foi efectuado o ensaio de resistência à flexão, para verificar se houve enfraquecimento do sistema de fixação, devido ao amolecimento do material. Não foi verificado enfraquecimento do sistema de fixação.

Tabela 16– Tabela de resultados de ensaios para material Policarbonato(PC)

NOTA: Exigências conforme a norma EN 12983-1:2000.

SECÇÃO	RESULTADO	CONCLUSÃO
7 – ACESSÓRIOS		
7.2 Resistência à combustão Uma pega não deve derreter ou fundir de forma a gotejar material em fusão e/ou inflamar quando os ensaios são efectuados de acordo com o anexo A. Qualquer combustão deve ser auto-extinguível dentro de 15 s após a remoção da chama. Após extinta a combustão, o material da pega não deverá reacender espontaneamente.	O material entrou em combustão, extinguindo-se a chama logo após a sua remoção. Não houve gotejamento do material.	CONFORME
7.3 Resistência ao calor Todos os acessórios concebidos para serem ligados ao corpo principal do produto, devem estar isentos de fendas e bolhas após a realização do ensaio descrito no anexo B, a uma temperatura de $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$ durante 1 h. Este requisito não se aplica a características puramente decorativas, incrustações ou frisos termoplásticos por ex.	Apesar de não existirem fendas e fissuras, verificou-se deformação da parte inferior da cabo, a qual pode afectar a segurança na utilização da panela de pressão. Ver figura 1.	NÃO CONFORME
7.5 Resistência à flexão Quando submetido aos ensaios descritos no anexo D, o sistema de fixação deve suportar uma força de flexão de 100 N sem enfraquecimento do sistema de ligação, como rebites, solda, etc. Uma deformação ou um enfraquecimento do corpo ou da pega, não deve ser considerado como um enfraquecimento neste ensaio, excepto se a parte enfraquecida fizer parte do sistema de fixação.	Não foi verificado enfraquecimento do sistema de fixação.	CONFORME



Fig.35 – Aspecto da amostra no final do ensaio de resistência ao calor

3.2 Análise de Viabilidade económica dos materiais ensaiados

Como se pode observar no fluxograma em baixo, após os resultados de injeção, efectou-se uma análise de viabilidade económica. Após os resultados dos ensaios de injeção, efectou-se uma análise de custo. Após essa análise de custo, retirou-se as respectivas conclusões de viabilidade económica.

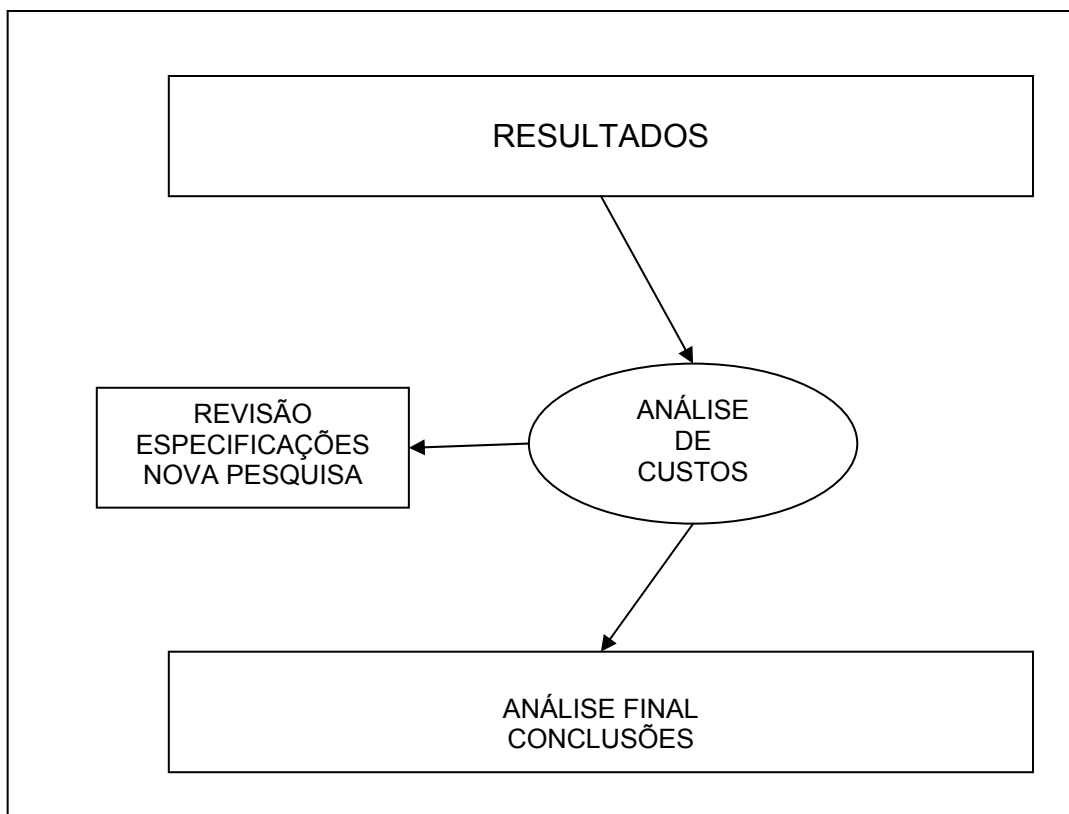


Fig.36- Fluxograma de Procedimento de Teste de Materiais – Parte 3

Após a análise de custos para cada material, poderemos voltar sempre ao passo de pesquisa de material e percorrer os passos seguintes do respectivo fluxograma. (Pesquisa, Injecção, Testes Normas Louça e Custos).

A razão pela qual efectou-se este fluxograma, foi o de existir um procedimento para o nosso trabalho e saber-se as todas as fases até chegar-se ao objectivo pretendido. No futuro, sempre que surjam materiais novos nos fabricantes, consiga-se rapidamente saber se o material em causa cumpre as especificações necessárias à aplicação assim como se é economicamente viável.

3.2.1 Cálculo de Custo de peça para materiais ensaiados

Para cada peça, efectua-se uma análise de custos baseado na matéria prima, no custo de proceso de injeção, no custo do molde necessário e em custos de operações após injeção (ex:rebarbagem,embalagem).

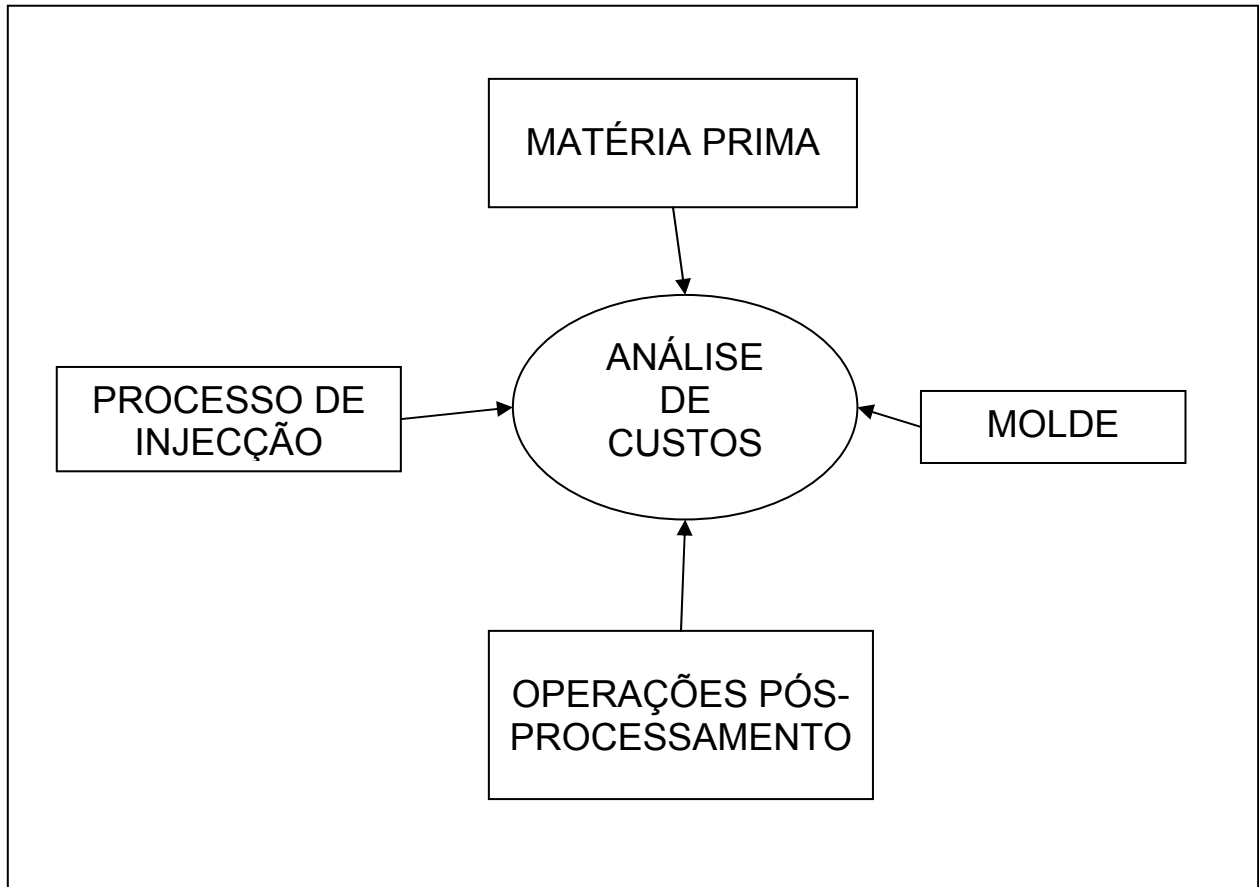


Fig.37- Fluxograma de divisão de custos na análise de Custos – Custo Final de Peça

Para esse cálculo e para cada peça utilizou-se o software C-MOLD, o módulo de custos – “Cost Cruncher”.

Passa-se a descrever as variáveis de custo para o cálculo de custo de peça.

Descreve-se a forma de cálculo deste software para que se consiga perceber como é feito o cálculo de custo de peça total.

Numa 2ª fase, analisa-se a ponderação dos 4 módulos de custo calculados – material, processo, molde e pós-processamento, para podermos actuar naquele que tenha maior ponderação e assim baixar mais facilmente o custo total de peça.

Na parte da matéria prima, as variáveis a introduzir para o cálculo do custo em termos de matéria prima são:

- Part weight - Peso Peça (gramas)
- Runner weight – Peso dos jitos por nº de peças (gramas – peças)
- Scrap/reject rate – Taxa de Rejeição (%)
- Max.regrind allowance – Taxa de reaproveitamento de material (%)
- Target part production – Produção alvo (peças)
- Material cost per (kg) – Custo Material por (Kg)

The screenshot shows the 'Material Cost by Weight' window of the C-MOLD Cost Cruncher software. It features a light green background and a dark green border. The interface includes several input fields and buttons for calculating material costs.

Material Cost by Weight

Set units: ☐ English ☒ Metric ☐ Custom

Part weight :

Runner weight : per parts

Scrap/reject rate : %

Max. regrind allowance : % of total shot volume

Targeted part production : parts

Total material required :

Material cost : \$ per

Material cost per part : \$

Fig.38 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de material por peça

O software faz o custo da quantidade de material necessário para a produção alvo tendo em conta a taxa de rejeição e a taxa de reaproveitamento.

O Custo de Material por peça é a multiplicação do custo de material pelo total em kilogramas do material requerido sobre a produção alvo.

As variáveis peso da peça, peso do gito, numero de cavidades do molde foram lidas de acordo com os ensaios efectuados.

A variável produção alvo foi estimada pela empresa e aquando o inicio do projecto. A taxa de rejeição e a taxa de reaproveitamento foi também estimada com base na experiência da empresa fornecedora que aplica estes mesmo materiais em outra aplicações. A variável custo matéria prima foi-nos fornecida pelos fornecedores de matéria prima para as quantidades pretendidas.

Variáveis:

$P_{peça}$ – Peso da Peça

P_{jito} – Peso do jito

$N_{peças\ inj}$ – N° de peças na injeção

$prod$ – Produção alvo

N_{jitos} – n°de jitos

T_{rej} – Taxa de Rejeição

T_{reapr} – Taxa de Reaproveitamento

$$N_{jitos} = \frac{prod}{N_{peças_inj}}$$

$$Mat.nec. = (P_{peça} \times prod) + (P_{jito} \times N_{jitos}) + Trej - Treapr$$

Na parte do processo de injeção , as variáveis a introduzir para o cálculo do custo em termos de injeção são:

- Cycle Time - Tempo de Ciclo (segundos)
- Cavities per mold – N° Cavidades por molde
- Machine rate per hour – Custo Máquina por hora (\$)
- Setup Cost – Custo de Mudança de Molde por n° de peças (\$)
- Downtime – Perdas (%)

The screenshot shows a software window titled "Machine Cost" with a light green background. It contains several input fields and a "Calculate" button. The inputs are: Cycle time (45 sec(s)), Cavities per mold (2), Machine rate per hour (\$ 20), Setup cost (\$ 45 per 50000 parts), and Downtime (5 %). The result shown is Machine cost per part (\$ 0.13).

Parameter	Value	Unit
Cycle time	45	sec(s)
Cavities per mold	2	
Machine rate per hour	\$ 20	
Setup cost	\$ 45	per 50000 parts
Downtime	5	%
Machine cost per part	\$ 0.13	

Fig.39 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de máquina por peça

De referir que a variável Custo máquina por hora foi atribuído mediante a estrutura de custos da empresa existente. Este cálculo de Custo máquina hora não é especificado a forma de cálculo, visto ser informação interna da empresa, que não nos foi facultada. Consideramos este custo, com a convicção que para uma estrutura do tipo existente, o valor será fiável. As variáveis tempo de ciclo, numero de cavidade no molde, foram lidas nos ensaios efectuados. As variáveis perdas e custo de mudança de valores foram atribuídas, mediante informações do sector de manutenção e de custos da empresa.

Variáveis:

T_{ciclo} – tempo de Ciclo de processamento

N_{cav} – Nº Cavidades do molde

C_{maq_hora} – Custo máquina/hora

$C_{processamento}$ – Custo Processamento por peça

C_{setup} – Custo de Mudança de Molde/Afinações (Setup)

$N_{peças}$ – Nº de peças antes de Mudança ou afinações (Setup)

$C_{setup_peça}$ – Custo de Mudanças de Molde/Afinações (Setup) por peça

C_{perdas} – Custo de perdas

$C_{maq_peça}$ – Custo Máquina por peça

$$C_{maq_peça} = C_{Processamento} + C_{Setup} + C_{Perdas}$$

$$C_{processamento} = \left(\frac{T_{ciclo}}{3600 * N_{cav}} \right) \times C_{maq_hora}$$

$$C_{Setup_peça} = \frac{C_{Setup}}{N_{peças}}$$

$$C_{perdas} = C_{maq_hora} \times Perdas$$

Na parte de custo de molde a englobar no custo da peça, as variáveis a introduzir para o cálculo do custo são:

- Mold cost – Custo do Molde (\$)
- Number of parts per mold life cycle – Nº de peças a injectar no molde
- Mold Maintenance per nº peças– Custo Manutenção molde por nº peças (\$)

The screenshot shows a software window titled "Mold Cost". It contains several input fields and a "Calculate" button. The inputs are: "Mold cost:" with a value of \$19000; "Number of parts per mold life cycle" with a value of 500000 parts; "Mold maintenance:" with a value of \$1000 per 500000 parts. The output field "Mold cost per part:" shows a value of \$0.04.

Input	Value	Unit
Mold cost	\$19000	
Number of parts per mold life cycle	500000	parts
Mold maintenance	\$1000	per 500000 parts
Mold cost per part	\$0.04	

Fig.40 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de Molde no custo de peça

Variáveis:

C_{molde} – Custo Molde

$N^{\circ}_{Peças \text{ ciclo vida molde}}$ – Nº de Peças por ciclo de vida do molde

$C_{intervenção}$ – Custo de cada manutenção molde

$N_{peças}$ – Nº de peças injectadas antes de manutenção

$N_{intervenções}$ – Nº de Intervenções de manutenção durante vida do molde

$$Custo_Molde_peça = \frac{(C_{molde} + C_{manutenção})}{N^{\circ} Peças_ciclo_vida_molde}$$

$$C_{manutenção} = N_{intervenções} \times C_{intervenção}$$

$$N_{intervenções} = \frac{N^{\circ} peças_ciclo_vida_molde}{N_{peças}}$$

As variáveis Custo de Molde e o numero de peças a injectar no molde foram estimados por empresas fabricantes de moldes. Pesquisou-se nos fabricantes de moldes o custo para execução de um molde para as respectivas peças em termoplástico. Relativamente ao custo de manutenção de molde, foi estimado pelo departamento de manutenção da empresa fornecedora.

Na parte de custo de operações pó-processamento a englobar no custo da peça, as variáveis a introduzir para o cálculo do custo são:

- Finishing - Custo de Acabamento
- Packaging - Custo de Embalagem
- Assembly - Custo de Montagem
- Other secondary operations - Outras Operações secundárias
- Other - Outras

Post-Molding Cost					
Finishing:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Other secondary operations:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Shipping:	\$	<input type="text" value="0.01"/>	per	<input type="text"/>	parts
Other:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Assembly:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Packaging:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Overhead:	\$	<input type="text"/>	per	<input type="text"/>	parts
Post-molding cost per part:					\$ <input type="text" value="0.01"/>
					<input type="button" value="Calculate"/>

Fig.41 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Custo de operações pós-processamento no custo de peça

As variáveis de custo de pós-processamento como embalagem, montagem, acabamentos, etc. foram atribuídos face à estrutura de custos existente na empresa. Por exemplo, a empresa na sua estrutura de custo consegue dizer quanto custa um operação de rebarbagem de peças.

Após a Introdução das variáveis de custo para as diferentes divisões de custo de peça (Máquina, molde, material), o software calcula o preço total e a percentagem de cada uma das divisões de custo. É apresentado no final um resumo de custos.

Por fim ao colocarmos a margem de lucro e a produção alvo, obteve-se o preço de venda.

Part-Cost Summary					
Total cost per part :	\$	<input type="text" value="0.35"/>	<input type="button" value="Calculate All"/>		
Cost-Breakdown					
Material :	\$	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="42.9"/>	%	
Machine :	\$	<input type="text" value="0.19"/>	<input type="text" value="54.3"/>	%	
		Total :	\$ <input type="text" value="0.35"/>	<input type="text" value="100"/>	%
Profit :		<input type="text" value="8"/>	%		
Targeted part production :		<input type="text" value="250000"/>	parts		
Price quote :	\$	<input type="text" value="0.38"/>	per part	\$ <input type="text" value="94500.0"/>	per production
					<input type="button" value="Calculate"/>

Fig.42 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Resumo do Custo de operações no custo de peça

Convém saber o porquê da atribuição de determinados custos a determinados materiais. Foram atribuídas taxas de rejeição diferentes a materiais tais como Polietermida, Policarbonato e Melamina fenólica (3%,3% e 2%). Os materiais polietermida e policarbonato pelo facto de serem transparentes e serem mais difíceis de processar.

As taxas de reaproveitamento nos materiais termoendurecíveis é de 0%, visto estes materiais não serem recicláveis. Para os restantes foi atribuído um valor de 5% de reaproveitamento.

Segundo os fabricantes de moldes o custo de molde será na mesma ordem de grandeza para os materiais termoendurecíveis como para os materiais termoplásticos (Considerado 22.500€).

Os materiais termoendurecíveis têm um custo hora máquina e custo de *SETUP* superior ao custo de hora máquina e de *SETUP* de materiais termoplásticos. Foram consideradas as mesmas perdas para todos os materiais (5%).

De referir que os custos de processamento são superiores no caso dos materiais termoendurecíveis do que nos materiais termoplásticos. Esta diferença deve-se a que no processo de injeção de termoendurecíveis a libertação de gases tem de ser superior, o que não se evita rebarba. A operação de rebarbagem no caso dos materiais termoendurecíveis, vai acrescer no custo de pós-processamento. No caso dos materiais termoplásticos, a única operação de pós-processamento é a embalagem.

Como se observa em baixo primeiro calculou-se o custo das peças escolhidas para estudo – Cabo Superior Simple, Cabo Inferior Simple, Asa Lateral Simple, no material em que actualmente são processadas – Resina Phenólica PF31 (Bakelite) e Melamina MF2500 (Bakelite) e depois nos materiais a aplicar (PA,PBT,PEI,PC)

Peça: Cabo Superior Simple

Material:PF31 (Bakelite)

Máquina a Injectar – BUCHER 160TON

Molde - 2 Cavidades

Operações pós-processamento – Rebarbagem e Embalagem



Material Cost by Weight Set units: <input type="radio"/> English <input checked="" type="radio"/> Metric <input type="radio"/> Custom Part weight : <input type="text" value="137"/> <input type="text" value="g"/> Runner weight : <input type="text" value="3"/> <input type="text" value="g"/> per <input type="text" value="2"/> parts Scrap/reject rate : <input type="text" value="1"/> % Max. regrind allowance : <input type="text" value="0"/> % of total shot volume Targeted part production : <input type="text" value="250000"/> parts Total material required : <input type="text" value="34974.75"/> <input type="text" value="kg"/> <input type="button" value="Calculate"/> Material cost : \$ <input type="text" value="1.1"/> per <input type="text" value="kg"/> Material cost per part : \$ <input type="text" value="0.15"/> <input type="button" value="Calculate"/>				Mold Cost Mold cost: \$ <input type="text" value="22500"/> Number of parts per mold life cycle: <input type="text" value="250000"/> parts Mold maintenance : \$ <input type="text" value="1000"/> per <input type="text" value="250000"/> parts Mold cost per part : \$ <input type="text" value="0.09"/> <input type="button" value="Calculate"/>																																	
Machine Cost Cycle time: <input type="text" value="85"/> <input type="text" value="sec(s)"/> Cavities per mold: <input type="text" value="2"/> Machine rate per hour: \$ <input type="text" value="16"/> Setup cost: \$ <input type="text" value="20"/> per <input type="text" value="50000"/> parts Downtime: <input type="text" value="5"/> % Machine cost per part : \$ <input type="text" value="0.2"/> <input type="button" value="Calculate"/>																																					
Post-Molding Cost Finishing: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts Other secondary operations: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts Shipping: \$ <input type="text" value="0.02"/> per <input type="text"/> parts Other: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts Assembly: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts Packaging: \$ <input type="text" value="0.01"/> per <input type="text"/> parts Overhead: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts Post-molding cost per part: \$ <input type="text" value="0.03"/> <input type="button" value="Calculate"/>																																					
Part-Cost Summary Total cost per part : \$ <input type="text" value="0.47"/> <input type="button" value="Calculate All"/>																																					
Cost-Breakdown <table border="0"> <tr> <td>Material :</td> <td>\$</td> <td><input type="text" value="0.15"/></td> <td><input type="text" value="31.9"/></td> <td>%</td> <td>Mold :</td> <td>\$</td> <td><input type="text" value="0.09"/></td> <td><input type="text" value="19.1"/></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Machine :</td> <td>\$</td> <td><input type="text" value="0.2"/></td> <td><input type="text" value="42.6"/></td> <td>%</td> <td>Post-molding :</td> <td>\$</td> <td><input type="text" value="0.03"/></td> <td><input type="text" value="6.4"/></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Total :</td> <td>\$</td> <td><input type="text" value="0.47"/></td> <td><input type="text" value="100"/></td> <td colspan="5"></td> </tr> </table> Profit : <input type="text" value="8"/> % Targeted part production : <input type="text" value="250000"/> parts Price quote : \$ <input type="text" value="0.51"/> per part \$ <input type="text" value="126900.0"/> per production <input type="button" value="Calculate"/>								Material :	\$	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="31.9"/>	%	Mold :	\$	<input type="text" value="0.09"/>	<input type="text" value="19.1"/>	%	Machine :	\$	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="42.6"/>	%	Post-molding :	\$	<input type="text" value="0.03"/>	<input type="text" value="6.4"/>	%	Total :		\$	<input type="text" value="0.47"/>	<input type="text" value="100"/>					
Material :	\$	<input type="text" value="0.15"/>	<input type="text" value="31.9"/>	%	Mold :	\$	<input type="text" value="0.09"/>	<input type="text" value="19.1"/>	%																												
Machine :	\$	<input type="text" value="0.2"/>	<input type="text" value="42.6"/>	%	Post-molding :	\$	<input type="text" value="0.03"/>	<input type="text" value="6.4"/>	%																												
Total :		\$	<input type="text" value="0.47"/>	<input type="text" value="100"/>																																	

Fig.43 – Figura do software C-MOLD Cost Cruncher – Cálculo de Custo de Cabo Superior Simple

3.2.2 Análise comparativa de custo peça

Em baixo encontra-se a tabela de resumo de custos de peça para os referidos materiais de acordo com as vertentes material,máquina,molde e pós-processamento. A tabela faz referência e compara os seguintes materiais:

- PF31 – Resina Fenólica – Não reciclável (material actual – cores escuras)
- MF2500 – Melamina Fenólica – Não Reciclável (material actual - cores claras)
- PA c/30FV – Poliamida com 30% de Fibra de Vidro – Reciclável
- PEI – Polietermida – Reciclável
- PBT – Polibutileno Tetraftalato – Reciclável
- PC6265 – Policarbonato – Reciclável

Os materiais PF31 e MF2500 são os materiais actualmente usados e não são recicláveis. A tabela compara os custos dos materiais actualmente usados (termoendurecíveis) e os materiais que poderão ser usados no futuro (termoplásticos).

Tabela 17 – Tabela comparativa de custos de diferentes materiais

Material	Materiais					
Variáveis	PF31	PA c/30% FV	Polietermida	MF2500	PBT	PC6265
Peso Peça (g)	137	127	127	137	127	122
Peso dos Jitos (g)	3	2	2	3	2	2
Nº Peças Gito	2	2	2	2	2	2
Taxa de Rejeição	1%	1%	3%	2%	1%	3%
Taxa Máxima de Reaproveitamento	0%	5%	5%	0%	5%	5%
Produção Prevista	250000	250000	250000	250000	250000	250000
Custo Material por Kilo	1,10 €	3,50 €	15,00 €	2,20 €	3,50 €	10,00 €
Total de Material Requerido (Kg)	34974,75	31750	31750	35331,63	31750	30500
Custo Material por peça	0,15 €	0,44 €	1,91 €	0,31 €	0,44 €	1,22 €
Molde						
Custo do Molde	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €	22.500,00 €
Nº de Peças a injectar em cada injeção	2	2	2	2	2	2
Custo Manutenção do molde	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €	1.000,00 €
Ciclo de Vida do Molde	250000	250000	250000	250000	250000	250000
Custo do Molde por peça	0,09 €	0,09 €	0,09 €	0,09 €	0,09 €	0,09 €
Máquina						
Tempo de Ciclo (s)	85	45	85	85	45	65
Nº de Cavidades no molde	2	2	2	2	2	2
Custo máquina por hora	16,00 €	12,00 €	12,00 €	16,00 €	12,00 €	12,00 €
Custo de Mudanças de Molde (SETUP)	20,00 €	15,00 €	15,00 €	20,00 €	15,00 €	15,00 €
Nº de Peças por mudança (SETUP)	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Custo de Perdas(DOWNTIME)	5%	5%	5%	5%	5%	5%
Custo de Máquina por peça	0,20 €	0,08 €	0,15 €	0,20 €	0,08 €	0,11 €
Custo de Op.Pós-Processamento						
Acabamento						
Outras Operações Secundárias						
Montagem						
Rebarbagem	0,02 €			0,02 €		
Limpeza						
Embalagem	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €	0,01 €
Custo Op.Pós Processamento	0,03 €	0,01 €	0,01 €	0,03 €	0,01 €	0,01 €
Custo Peça - Sumário						
Custo Total Peça	0,47 €	0,62 €	2,16 €	0,63 €	0,62 €	1,43 €

O gráfico em baixo reflecte a tabela anterior e faz a comparação de custos totais de peça, assim como o custo de material, máquina, molde e pós-processamento por peça. Pela análise do gráfico conclui-se que existem 2 grupos de materiais com o mesmo nível de custo total de peça. O grupo do Policarbonato(PC6265) e Polietermida(PEI) com um custo total de peça de 1.43€ e 2.16€ respectivamente e o grupo da Poliamida (PA) e Polibutileno Tetraftalato(PBT) com um custo total de peça que ronda os 0.63€. Os materiais termoendurecíveis actualmente utilizados Resina Fenólica (PF31) e Melamina Fenólica (MF2500) situam-se no mesmo nível de custo que o grupo da Poliamida (PA) e Polibutileno Tetraftalato(PBT) com um custo total de peça que ronda os 0.63€.

De referir que os materiais Policarbonato(PC6265) e Polietermida(PEI) têm a característica de serem transparentes, característica essa que nenhum outro material estudado tem. Visto que o produto em causa tem especificações estéticas, a transparência poderá ser uma mais valia ao nível desse requisito.

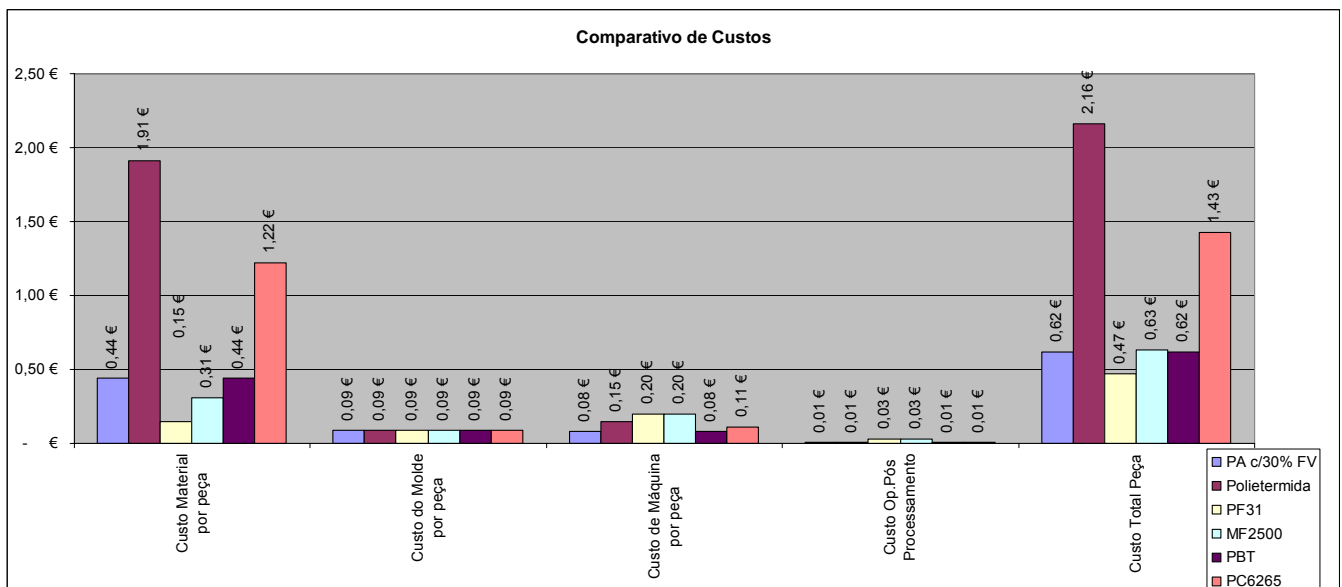


Fig.44 – Gráfico comparativo de custos de peça segundo as vertentes material, molde, máquina e pós-processamento

De seguida analisou-se a percentagem de cada uma das vertentes calculada no custo total da peça: Material, Máquina, Molde e Acabamento.

Ao dividir-se o custo total da peça em 4 vertentes, Material, Máquina (Processo), Ferramenta (Molde) e Acabamento, conseguiu-se facilmente saber que variáveis têm maior peso no custo total e em qual deveremos actuar mais ou menos para reduzir o custo total da peça.

A Tabela e o gráfico abaixo mostram as percentagens de custo de material, máquina, molde e acabamento no custo total da peça.

Os materiais analisados e que se encontram nos gráficos foram PF31 (Resina Fenólica), MF2500 (Melamina Fenólica), PBT (Polibutileno Tetrafetalato), PA (Poliamida), PEI (Polietermida) e PC (Policarbonato).

Os Materiais actualmente utilizados nesta aplicação (Louça Metálica) são o PF31 e a MF2500, não sendo possível de serem reciclados. Os materiais alternativos que foram testados e satisfazem as especificações impostas e são recicláveis são o PBT, a PA, a PEI e o PC.

Pela análise do gráfico conseguimos concluir que a variável que tem maior peso no custo total da peça dos materiais recicláveis é a variável Material.

Tabela 18– Análise de Afecção de Custos segundo as vertentes material, máquina, molde e acabamento

Análise de Afecção de Custos	PF31	PA c/30% FV	Polietermida	MF2500	PBT
Material	31,90%	71,0%	88,4%	49,2%	71,0%
Máquina	42,60%	12,9%	6,9%	31,7%	12,9%
Molde	19,10%	14,5%	4,2%	14,3%	14,5%
Acabamento	6,40%	1,6%	0,5%	4,8%	1,6%

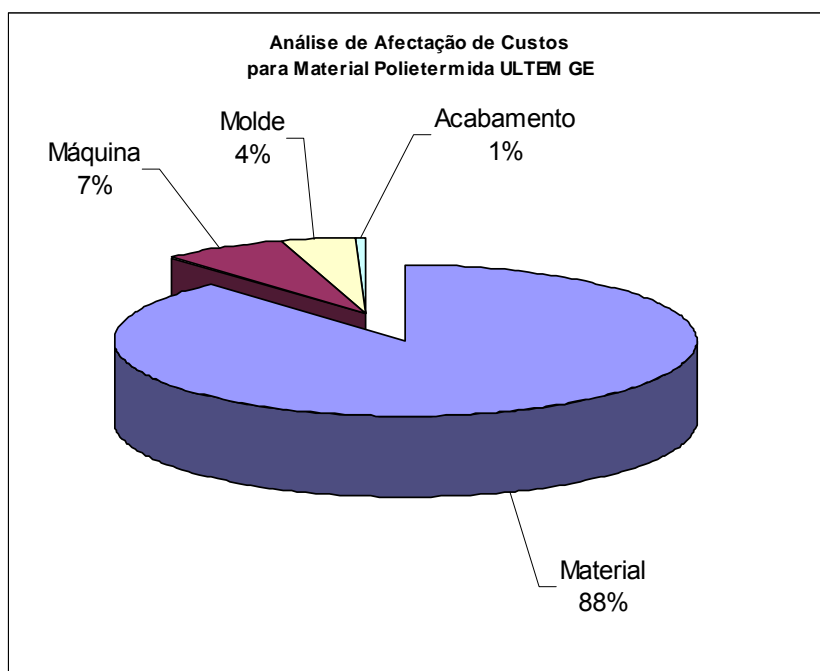


Fig. 45 – Gráfico de análise de afecção de custos na vertente material, no material ULTEM PEI GE

A variável Material nos materiais que não são recicláveis é relativamente baixa, enquanto que a variável máquina (processamento) é elevada, visto que estes materiais são mais difíceis de processar do que os materiais termoplásticos.

No fundo, e para resumir, para materiais termoendurecíveis a matéria prima é mais barata, o seu processamento é mais difícil e não são recicláveis. Resistem facilmente à chama e à temperatura. Os materiais termoplásticos de grande consumo tem dificuldades a resistir à chama e à temperatura (os referidos são termoplásticos de engenharia ou especiais), são recicláveis e fáceis de processar. Como têm que cumprir requisitos especiais de chama e temperatura os materiais referidos, embora relativamente fáceis de processar têm um preço menos interessante em termos de matéria prima do que os termoendurecíveis.

3.2.3 Análise de Custo do Conjunto Panela de Pressão

Neste item efectuou-se uma análise de custos ao conjunto panela de pressão. Anteriormente, foi efectuado o cálculo de custos para os acessórios (asas) da panela de pressão. Achou-se importante saber a afectação de custo dos acessórios no custo total da panela. Para isso efectuou-se o cálculo de custos do conjunto panela de pressão e a percentagem que cada conjunto ou sub-conjunto tinham no conjunto final. O cálculo do custo total da panela de pressão não está aqui apresentado, visto ser informação interna e confidencial da empresa, não sendo relevante para esta análise.

Apresenta-se em baixo uma tabela onde se descreve a percentagem de custo de cada conjunto, sub-conjunto assim como custos de transformação no custo do conjunto panela de pressão.

Tabela 19 – Percentagem de Custos dos diferentes componentes e de transformação no custo total do conjunto Panela de Pressão

Designação componente	%
Travessão	4,97%
Tampa 6L	13,35%
Corpo	17,06%
Caixa	3,50%
Folheto	0,03%
Livro instruções	0,95%
Postal Garantia	0,07%
Cesto	6,45%
Tarifas	0,58%
Palete	0,25%
Custos transformação	47,54%
Custos Acessórios	5,26%
Ctotal Panela 6L	100,00%

As tabelas em baixo referem a percentagem de custo de uma asa no custo total do conjunto Panela de Pressão para os materiais estudados.

O custo de uma asa nos materiais actualmente utilizados no custo do conjunto Panela de Pressão é de 1.6% para a Resina Fenólica (PF31) e de 2.4% para a Melamina Fenólica(MF2500).Para o material Polietermida (PEI) é de aproximadamente 7.33%.Para o material Polibutileno Tetraftalato e Poliamida (PA) é de 2.1%.Para o material Policarbonato (PC6265) é de 4.85%.

Na tabela ainda se refere a percentagem do custo do conjunto de acessórios no custo total do Conjunto Panela de Pressão, para os materiais ensaiados. O Conjunto de acessórios é composto por: Cabo Superior, Cabo Inferior e Asa Lateral. A percentagem de custos do conjunto de acessórios para os materiais Resina Fenólica (PF31-material actualmente utilizado),Melamina Fenólica (MF2500-material actualmente utilizado),Polibutileno Tetraftalato (PBT), Poliamida (PA) encontra-se entre os 5 e 5,5%. A percentagem de custo para o material Polietermida (PEI) é de aproximadamente 17%.A percentagem de custo para o material Policarbonato (PC) é de aproximadamente 11% do custo conjunto Panela de Pressão.

Tabela 20 – Percentagem de custo de acessórios no custo conjunto Panela de Pressão

%Asa Lateral PF31	1,60%	Conjunto Acessórios PF31	5,26%
%Asa Lateral PEI	7,33%	Conjunto Acessórios PEI	17,10%
%Asa Lateral PBT	2,10%	Conjunto Acessórios PBT	5,19%
%Asa Lateral MF2500	2,14%	Conjunto Acessórios MF2500	5,36%
%Asa Lateral PA	2,10%	Conjunto Acessórios PA	5,26%
%Asa Lateral PC6265	4,85%	Conjunto Acessórios PC6265	11,37%

A tabela em baixo mostra a afectação de custos de utilização dos materiais Polietermida (PEI), Polibutileno Tetraftalato (PBT), Poliamida (PA) e Policarbonato (PC) em vez do material Resina Fenólica (PF31) actualmente o mais usado.Pela tabela consegue-se perceber que na peça Cabo Superior ao utilizarmos o material Polietermida (PEI),sofre-se um acréscimo de custo de 5,74%.Ao utilizarmos o conjunto de acessórios no material Polietermida (PEI) em vez de utilizarmos o material actual, sofre-se um acréscimo de custo no conjunto panela de pressão de 11,84%. A mesma análise está descrita para os restantes materiais na tabela abaixo.De salientar que para os materiais Polibutileno Tetraftalato (PBT), Poliamida (PA) e Melamina Fenólica (MF2500), o custo dos acessórios no conjunto panela de pressão não sofre afectação de custo.

Tabela 21 – Afectação de custos de utilização de materiais PEI,PBT,MF25000,PA,PC6265 em vez do material PF31 no Cabo Superior e no conjunto Panela de Pressão

	Cabo Superior	Conjunto Panela de Pressão
Diferenças PEI/PF31	5,74%	11,84%
Diferenças PBT/PF31	0,51%	-0,07%
Diferenças MF2500/PF31	0,54%	0,00%
Diferenças PA/PF31	0,51%	0,00%
Diferenças PC/PF31	3,26%	6,11%

De referir que embora os materiais Polietermida (PEI) e Policarbonato (PC) tenham apresentado acréscimos de custo significativamente superiores no conjunto Panela de Pressão, não significa isto que não sejam viáveis a sua aplicação, visto terem propriedades que o material actualmente não comporta como é o caso de serem transparentes, o caso de serem recicláveis, etc.

Esta análise permite saber que no conjunto em causa, ou na peça cabo superior qual era a percentagem de custo dos acessórios no custo total do conjunto panela de pressão para o material usado anteriormente e qual a percentagem de custo dos acessórios no custo total do conjunto Panela de Pressão para os materiais estudados.

O gráfico em baixo ilustra essa percentagem de custo para os diversos componentes do Conjunto Panela de Pressão assim como os acessórios nos diversos materiais estudados.

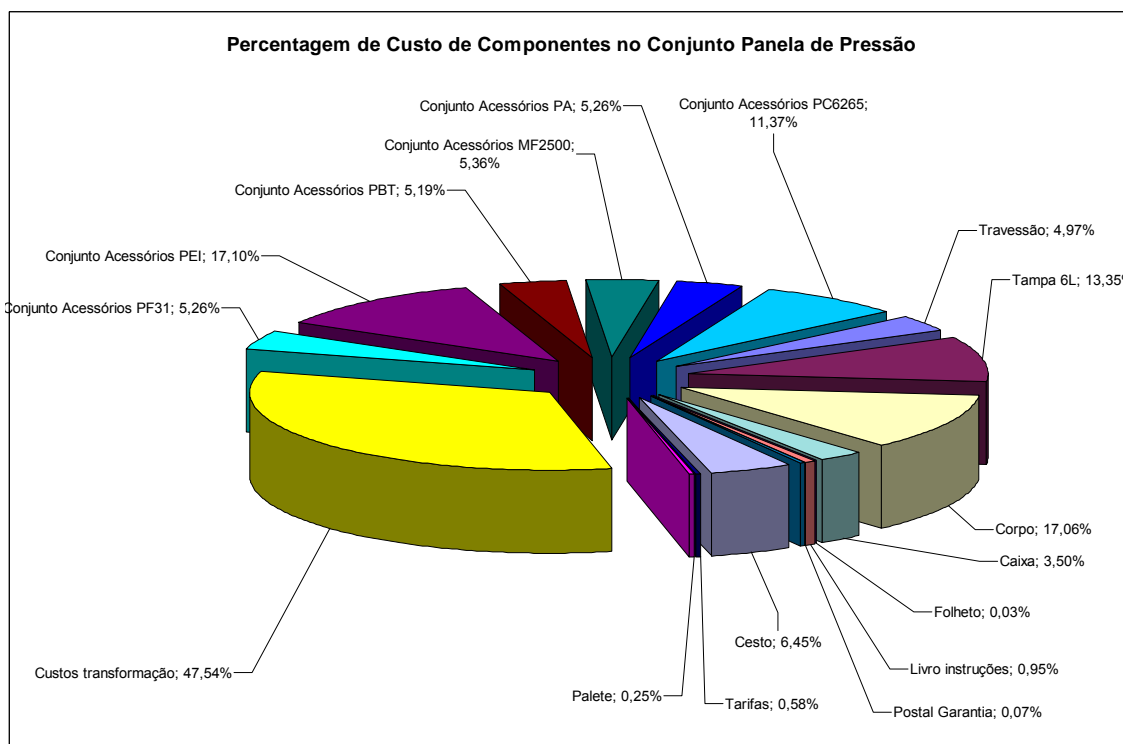


Fig.46 – Valor percentual de custo dos diversos componentes no produto Panela de Pressão

3.2.3 Análise de viabilidade económica - Conclusões

Isto permite-nos concluir que:

1. Devemos reduzir a quantidade de matéria prima usada nas peças, seja por redefinição da geometria das peças ou por técnicas não convencionais de moldação por injeção.
2. Visto que o custo de máquina (Processamento) em termos de materiais termoplásticos é inferior aos termoendurecíveis poderemos elevar o custo de processamento em detrimento da redução da vertente matéria prima.

3.3 Aplicação de tecnologias de injeção não-convencionais com o intuito de redução de custo de peça – Co-Injeção

3.3.1 Utilização de tecnologia não convencional Bi-material (monosandwich ou sandwich), para redução de material - Introdução

A primeira ideia será no exterior colocar material com características que satisfaçam os requisitos estudados (ex. polietileno) e no interior colocar material mais barato que não necessite de ter requisitos de chama ou requisitos de calor. (Cumprimento da Norma *NP EN 12983 – 1 2001 “ Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa “*.

Para sabermos a que temperatura o material fica no interior e deve resistir, efectuou-se uma simulação térmica do ensaio de calor no software de elementos finitos COSMOS.

A espessura da camada (distribuição do material A e B) deverá ter em conta a autoextinção do material. Os materiais são classificados pela Norma UL94 de acordo com uma espessura. A espessura do material exterior deve ser sempre igual ou superior à característica de autoextinção do material. Por exemplo se colocarmos a polietileno no exterior e se essa polietileno for V0 a 3mm de espessura. A distribuição da camada de polietileno deve ser sempre no mínimo 3mm.

Para o cálculo das espessuras efectuou-se uma simulação na ferramenta MOLDFLOW com o módulo de co-injeção.

Efectuaram-se ensaios de injeção com a tecnologia co-injeção monosandwich e sandwich na Universidade do Minho.

3.3.2 Processo de Co-injecção – Breve Introdução

O processo de co-injecção, envolve a moldação simultânea de 2 materiais. A moldação tem uma estrutura tipo sandwich, resultante do escoamento de um material no interior do outro.

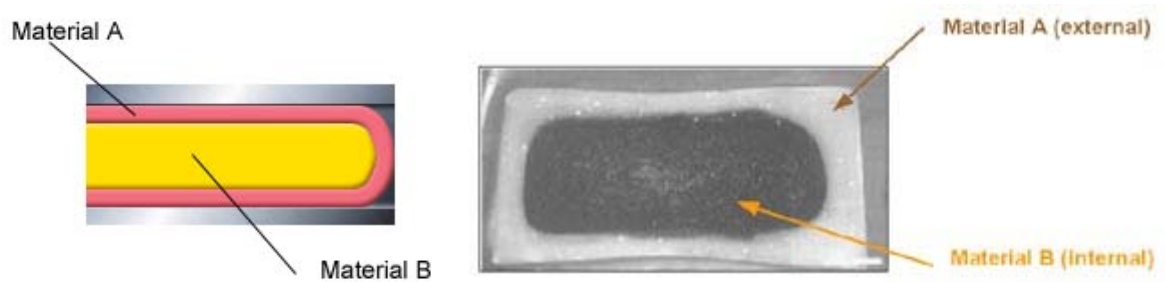


Fig.47 – Esquema em corte de peça injectada pelo processo de co-injecção

As moldações obtidas por este processo procuram responder a dois grandes tipos de especificações:

- a) Funcional, quando se pretende encapsular um material com propriedades específicas.
- b) Reciclagem, através da introdução de material reciclado na camada interior.

As principais variantes do processo baseiam-se no equipamento *sandwich* ou *monosandwich*.

O processo de *sandwich* utiliza duas unidades de injeção e um dispositivo para fazer a comutação entre os dois fluxos.

O processo de *monosandwich* utiliza uma unidade de injeção, para o material da camada interior, e uma extrusora que bombeia o material da camada exterior para a frente do primeiro material. A injeção dos dois materiais é efectuada em simultâneo. Este processo tem a vantagem de não ter a comutação entre os dois fluxos durante o processo de injeção.

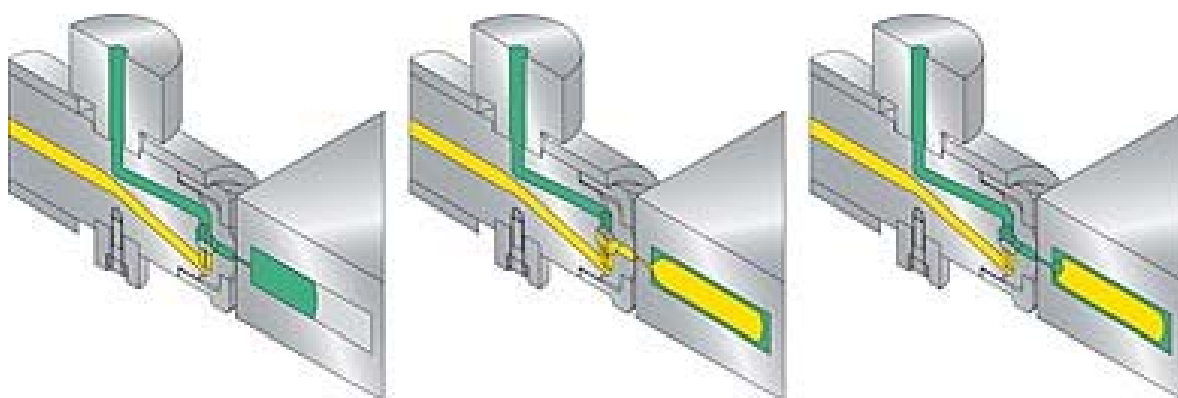


Fig.48 – Esquema de processo de co-injecção – “Sandwich”

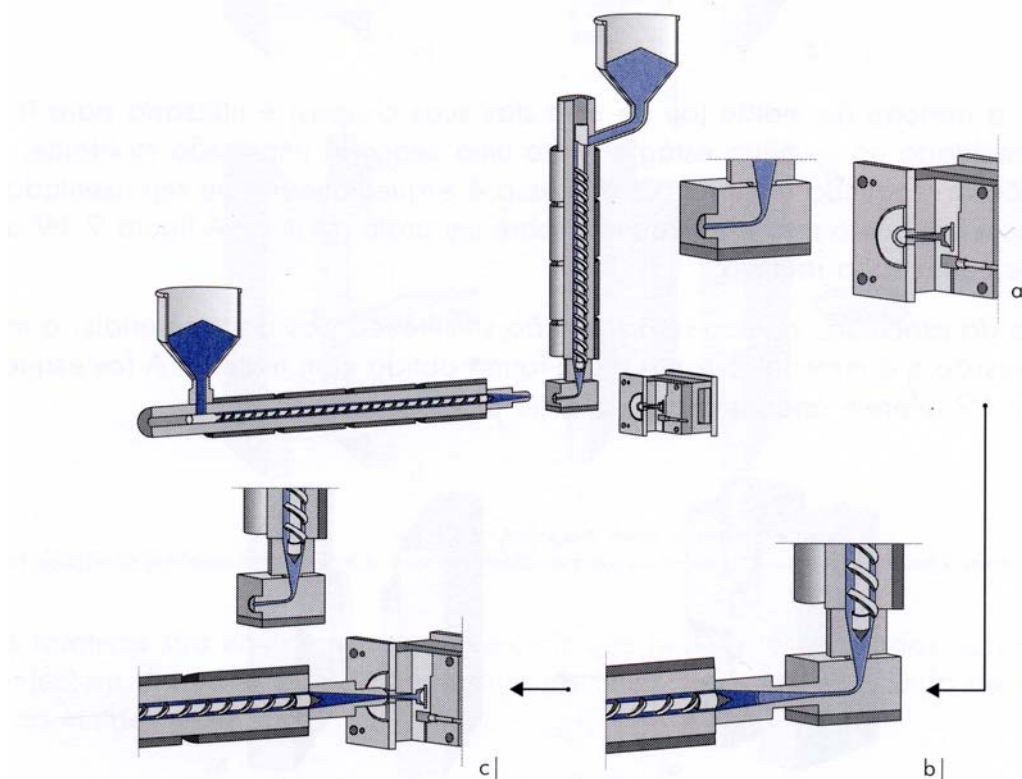


Fig.49 – Esquema de processo de co-injecção – “mono-Sandwich”

Como se pode observar nas figuras 50 e 51 em baixo, a máquina de injeção bi-material disponível nos laboratórios do departamento de polimeros da Universidade do Minho, onde se efectuaram os ensaios, permite as duas formas de co-injecção – “*monosandwich*” (figura 50) e “*sandwich*” (figura 51).

O processo de co-injecção *monosandwich* contempla uma extrusora (unidade 2 de plasticização) que vai extrudir material para a unidade 1 de injeção. Na unidade 1 de injeção o material extrudido (material A) encontra-se na parte frontal da unidade, assim como o material B na parte traseira da unidade de injeção 1. Ao injectar os materiais A e B que se encontram na unidade de injeção 1, o material A com se encontra na frente irá localizar-se na parte exterior da peça e o material B que se encontra na parte de trás da unidade, irá localizar-se no interior da peça.

A vantagem do processo de co-injecção tipo *sandwich* é poder-se optar por injectar os materiais pelas sequências pretendidas. Primeiro a unidade 1 ou a unidade 2. Inclusivé neste tipo pode-se injectar várias vezes a unidade 1 e a unidade 2 efectuando efeitos nas peças. No caso do processo de co-injecção tipo *monosandwich* o material que fica no exterior da peça será sempre o material que se situa na unidade extrusora, visto que fica à frente na unidade de injeção 1, aquando a injeção no molde.

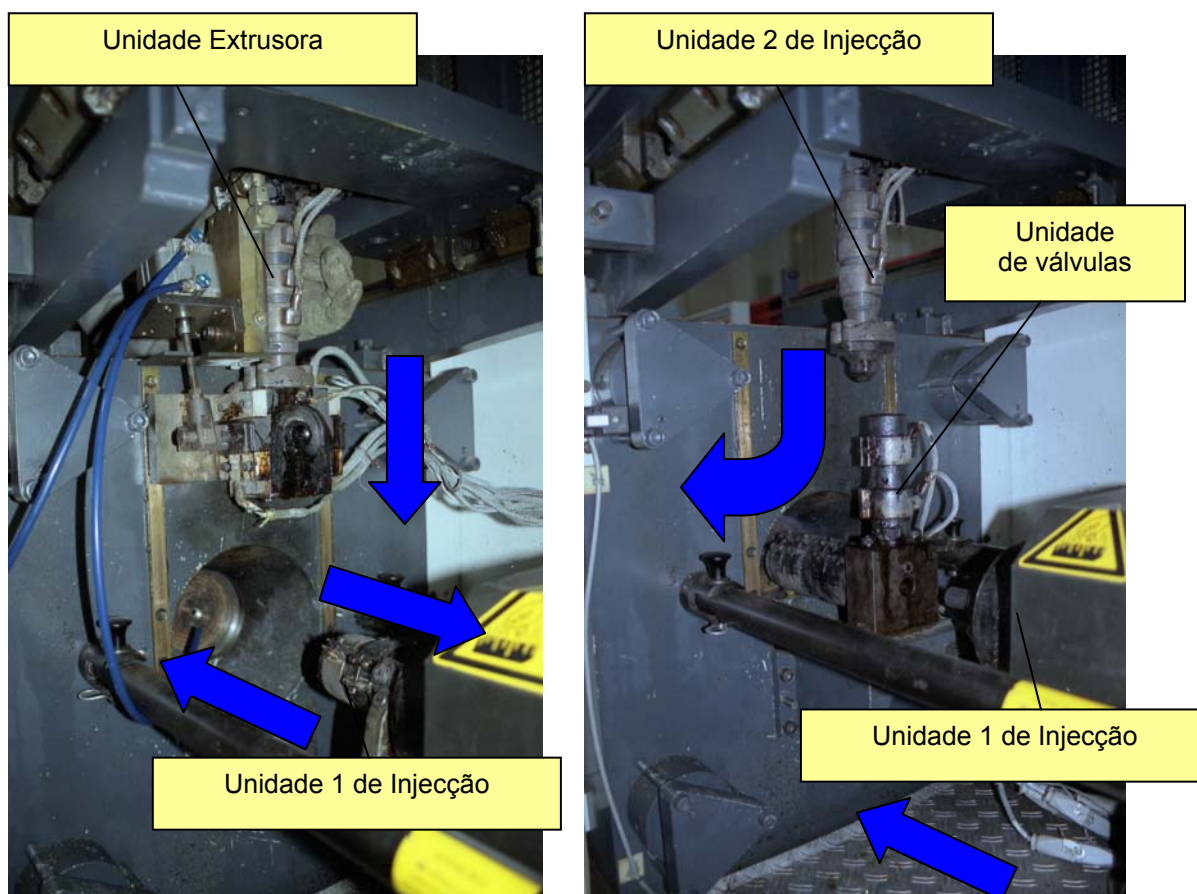


Fig.50 e 51 – Processos de co-injecção – “mono-Sandwich” e “Sandwich”

3.3.3 Estudo Térmico com ferramenta informática de elementos finitos (COSMOS) para análise de distribuição de temperatura

O Objectivo deste estudo é o de saber se o material que se encontra no interior terá de ter a característica de Temperatura igual à do material do exterior.

Pretende-se saber com este estudo se o material no interior terá de suportar uma temperatura de 150°C ou inferior.

Se o material no interior não tiver que resistir a temperaturas tão elevadas e não for autoextinguível (Classificação UL94-VO), será muito mais barato e provocará uma redução no custo total de peça.

De seguida descreve-se as etapas do estudo térmico.

Etapas da execução do estudo térmico com ferramenta de análise por elementos finitos:

- 1- Formulação do Problema
- 2- Criação do modelo para software de análise
- 3- Geração da malha
- 4- Aplicação das condições de fronteira
- 5- Cálculo de gradientes de temperatura
- 6- Análise de Resultados
- 7- Conclusões e/ou reformulação do problema

3.3.3.1 Formulação do Problema

Como podemos ver na figura a etapa 1 consistiu na elaboração da formulação do problema. Tentamos simular em computador o que acontece no ensaio de calor a que as peças estão submetidas. Já foi referido este ensaio e encontra-se no anexo Anexo B – Ensaio de Resistência ao Calor dos Acessórios da norma NP EN 12983 – 1 2001 “ Utensílios de Cozinha de uso doméstico para utilização em cima de um fogão, fogareiro ou placa “.

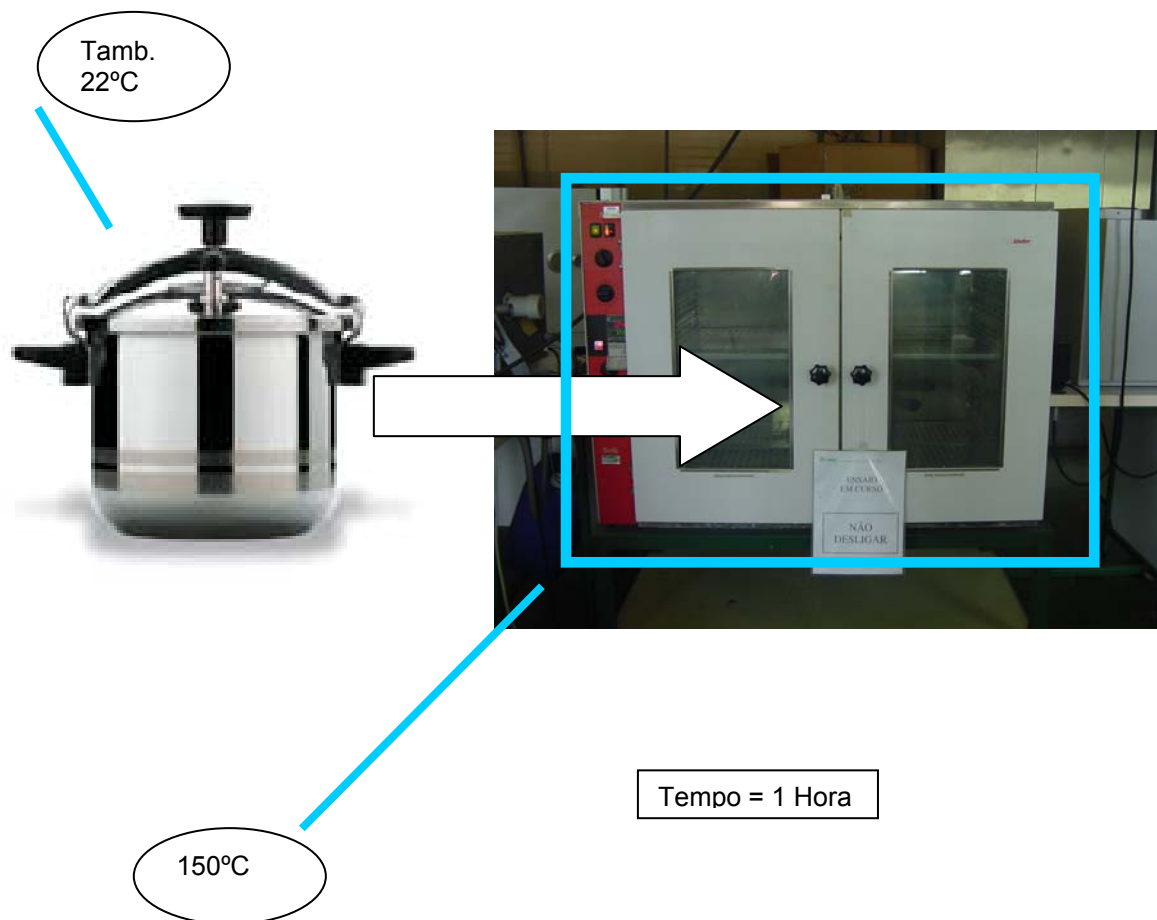


Fig.52 – Esquema de Formulação do problema de resistência ao calor

O ensaio assim como a sua simulação é algo bastante simples. A panela encontra-se no exterior do forno a uma temperatura ambiente. A panela é colocada no forno durante cerca de 1 hora a uma temperatura constante de 150°C. Retiramos a Panela e observamos se a panela sofreu deformações, fissuras, e outros possíveis problemas de acordo com o descrito atrás na norma.

Como foi referido a simulação vai permitir saber se nos instantes de tempo entre 0 e 3600 s (1Hora) a distribuição de temperaturas e logo saber se poderemos ter materiais com resistência à temperatura muito diferente ou não.

Dados do Problema:

Regime Transiente

Tinicial=22°C

Espaço Tempo – 0s a 3600s

Temperatura – 150°C

Mecanismo de Transferência – Convecção

Coefficiente de transferência de calor por convecção linear K-14

3.3.3.2 Criação do modelo para Software de análise

A nossa peça encontrava-se modelada no software de modelação Solidworks. Através do software de transferência MOLDFLOW DESIGN LINK conseguimos transferir as superfícies que vão ser transformadas em malha para uma análise por elementos finitos.

3.3.3.3 Geração da malha

Depois de importada a geometria procedemos à criação da malha. A criação da malha teve as seguintes características:

- Comprimento de Malha: 1.630932 mm
- Quoeeficiente de Malha:1.5
- Distancia entre niveis de malha: 3

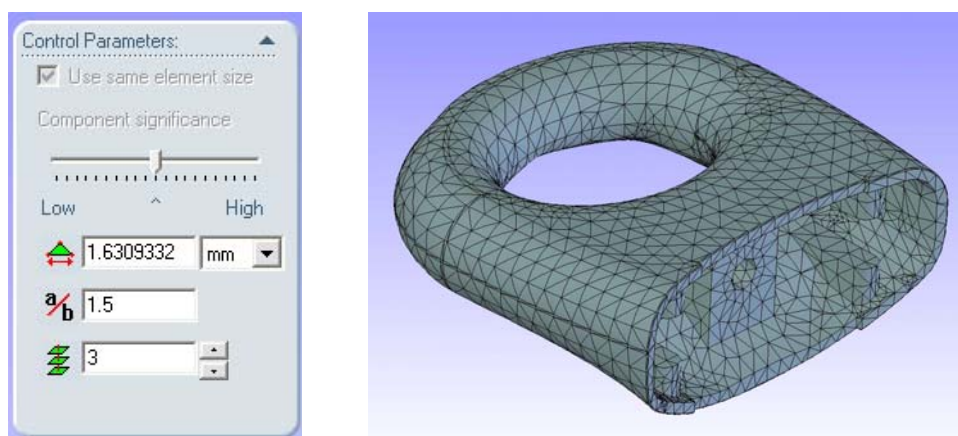


Fig.53 – Figura de Geração de malha e parâmetros de malha

3.3.3.4 Aplicação das condições de fronteira

As condições de fronteira são no fundo as condições em que o ensaio que estamos a simular decorre. As variáveis que são introduzidas para que aquando do processamento obtenhamos resultados da simulação do nosso processo.



Regime: Transiente

Sistema de Unidades : SI

Coeficiente de Transferência de Calor em convecção linear: $14 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Temperatura: 423 K

Propriedades do material Policarbonato (PC):

Condutividade Térmica: 0.189 W/(m.K)

Calor Especifico: 1535 J/(Kg.K)

Nota: A simulação foi efectuada considerando 1 único material.

Fig.54 – Parâmetros das condições de transferência de calor

3.3.3.5 Cálculo de gradientes de temperatura

Depois da criação da malha e da introdução das condições de fronteira, inicia-se o processamento de gradientes de temperatura ao longo do tempo. Interessa saber a temperatura nas várias espessuras da peça de forma a sabermos que material colocar no interior (Temperatura do material a colocar).

As figuras seguintes apresentam o resultado desse mesmo processamento dos gradientes de temperatura ao longo do tempo na geometria da peça. O intervalo de tempo considerado foi de 0 segundos a 3600 segundos (1 hora), que corresponde ao tempo do ensaio. Os intervalos de análise foram de 10 segundos. Apresentamos os intervalos que consideramos importantes para a análise do problema. Todos os resultados encontram-se em anexo.

3.3.3.4 Análise de Resultados

Neste item apresentamos os resultados processados dos gradientes de temperatura e efectua-se uma análise dos mesmos.

A figura em baixo apresenta o resultado do gradiente de temperatura no instante 1 ($t=10s$). Como vimos anteriormente, nos dados do problema a peça tem uma temperatura inicial de $22^{\circ}C$ e vai entrar numa atmosfera de $150^{\circ}C$. Após 10 segundos a peça tem zonas entre os $22^{\circ}C$ e os $45^{\circ}C$.

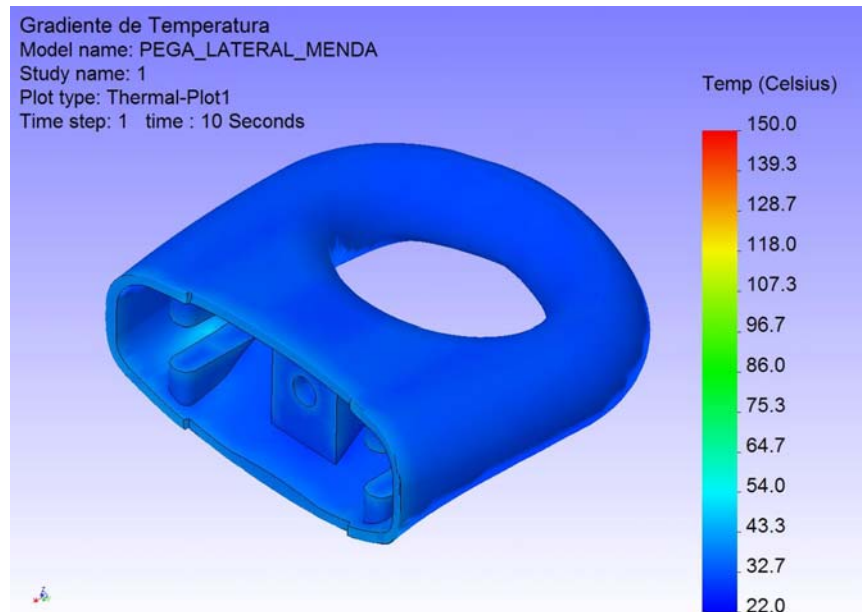


Fig.55 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=10s$)

Na figura e ainda no instante 1 ($t=10s$) podemos observar a peça em corte e a sua distribuição de temperaturas ao longo da espessura. Numa primeira análise podemos concluir que a distribuição da temperatura em relação à espessura é uniforme, logo a ideia da introdução de um material dentro de outro com resistência a temperatura diferentes tem fundamento. A questão

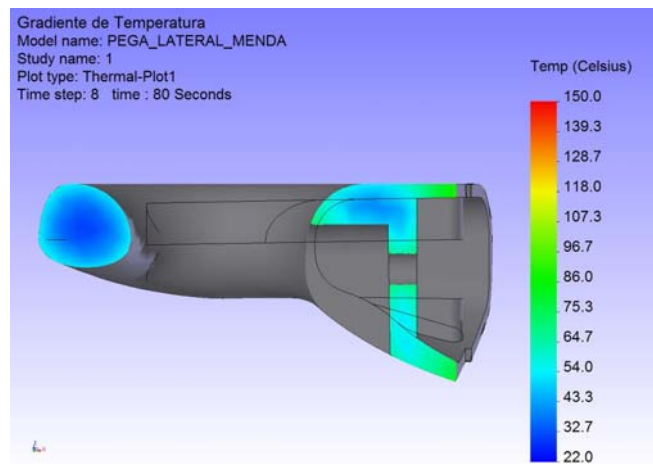


Fig.56 – Gradiente de Temperatura no instante ($t=80s$)

será a de saber se a temperatura vai aumentar e atingir os $150^{\circ}C$ durante os 3600 segundos.

A figura representa o gradiente de temperaturas no instante 30 ($t=300s$ – 5 min). Podemos observar já temperaturas na ordem dos $130^{\circ}C$, embora também existam pontos de temperatura de $38^{\circ}C$.

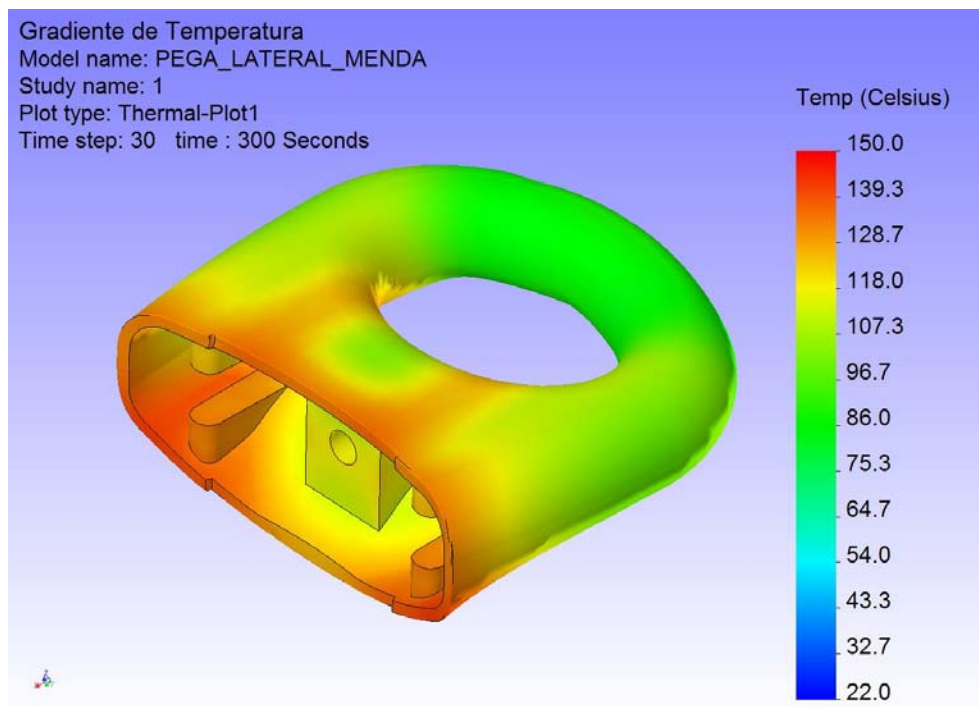


Fig.57 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=300s$)

De referir que a zona menos espessa tem um aquecimento mais rápido.

Na figura em baixo podemos ver que ao fim de 500s (aprox.8min) a temperatura em quase toda a peça é já perto dos $150^{\circ}C$.

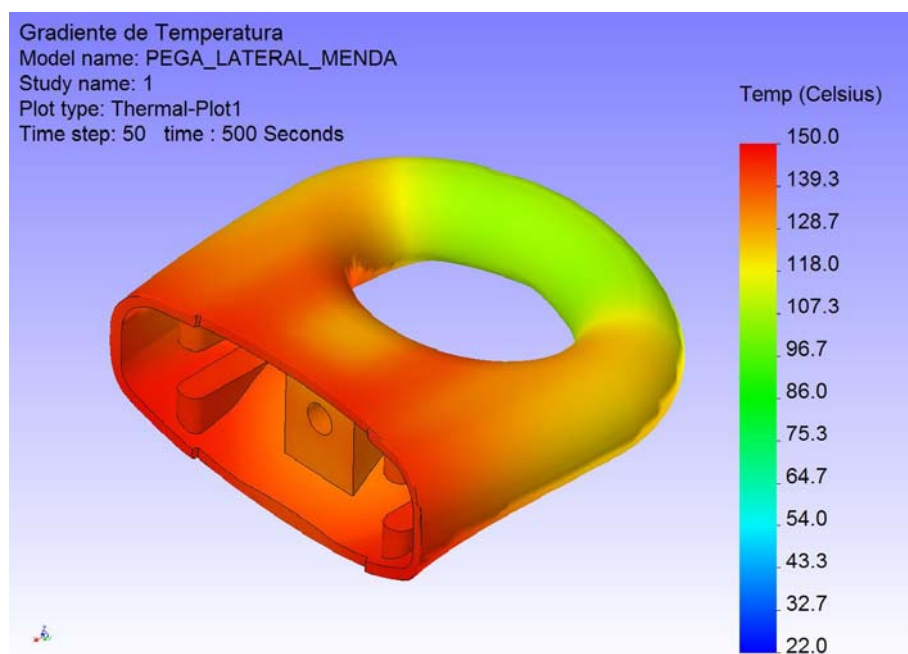


Fig.58 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=500s$)

Pela figura em corte conseguimos perceber a evolução da temperatura. Na parte mais fina, ao fim de 500 segundos embora no interior tenhamos temperaturas mais baixas do que na periferia, as temperaturas são na ordem dos 130°C. Na parte mais espessa da peça ao fim desse mesmo tempo temos temperaturas mais (entre 70°C e 105°C) baixas e a evoluir também do interior para a periferia. Ao fim deste tempo já encontramos temperaturas menos desejadas, mas ainda com variações entre o interior e exterior.

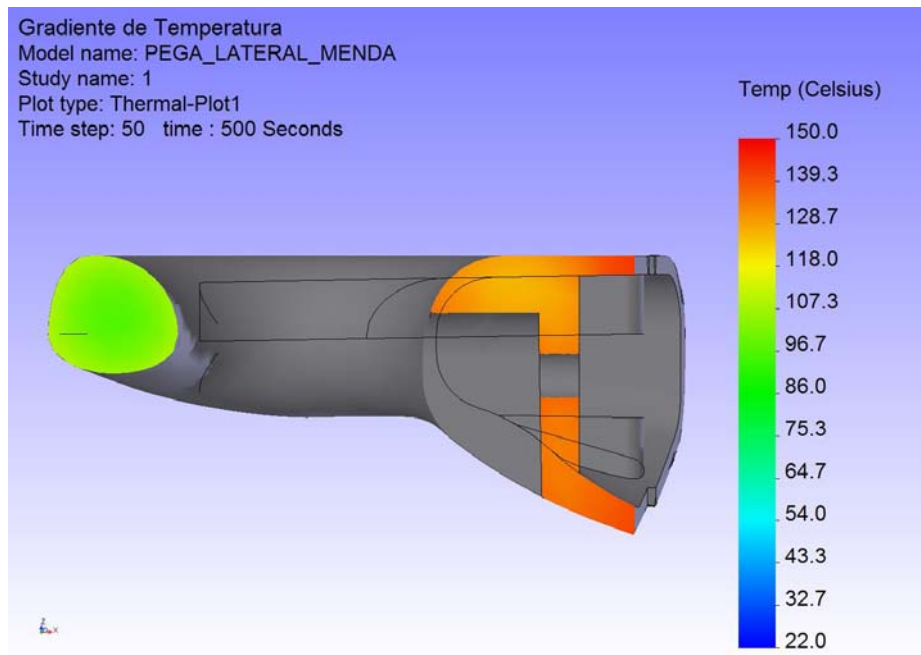


Fig.59 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante (t=500s)

Ao fim de 1200 segundos (t=20 minutos) e pelo que podemos constatar nas figuras em baixo, a peça encontra-se já quase toda a uma temperatura uniforme de 150°C.

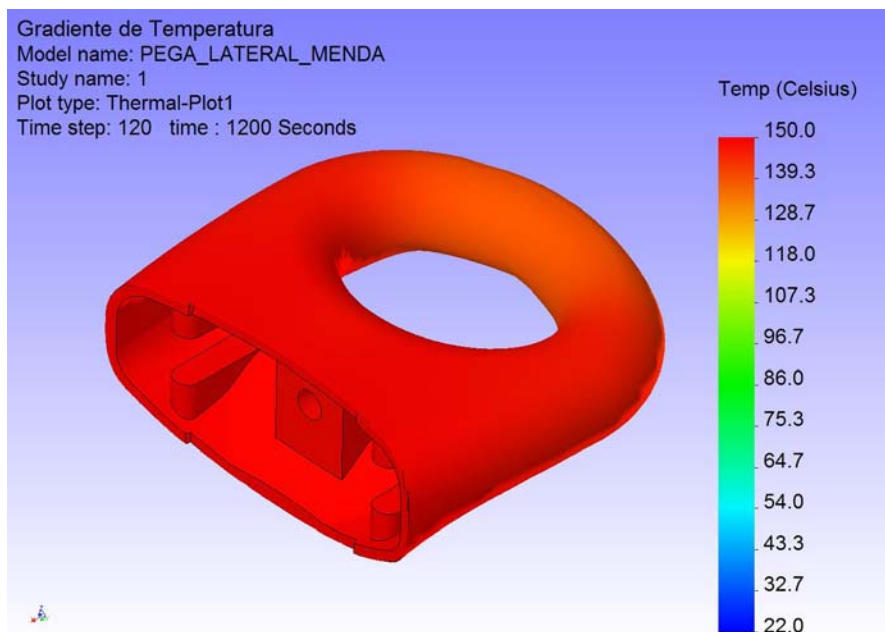


Fig.60 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante (t=1200s)

No instante $t=1200$ s (10 minutos) a zona mais espessa ainda não atingiu a temperatura de 150°C , encontrando-se muito perto e já é uniforme na sua espessura. A partir deste instante deixamos de ter desigualdade de temperaturas ao longo da espessura.

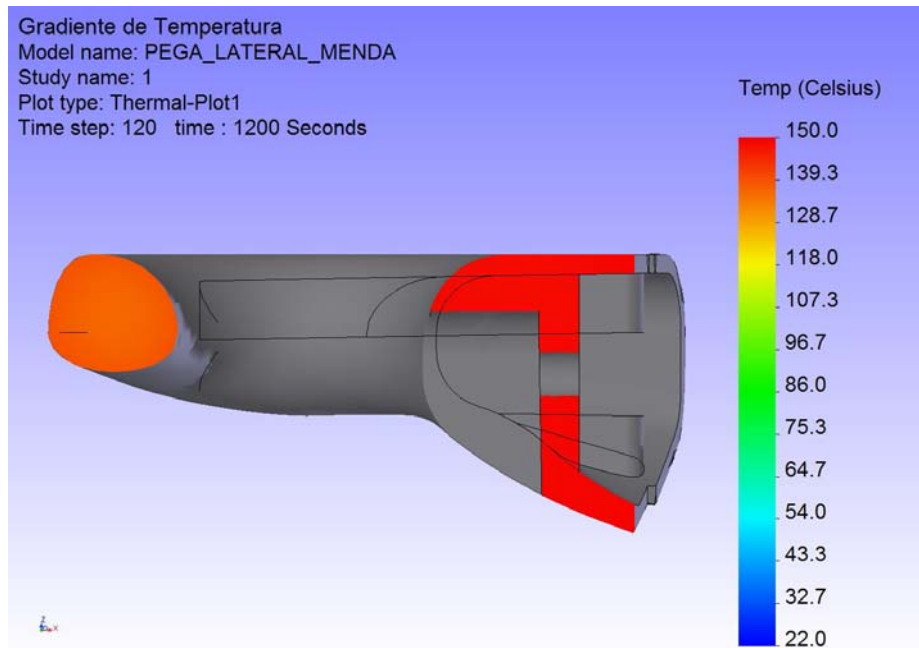


Fig.61 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante ($t=1200$ s)

Como podemos observar nas figuras seguintes a estabilidade de temperatura (150°C) mantém-se até ao final do tempo ($t=3600$ s). Esta uniformidade é também em relação à espessura da peça não variando da periferia para o centro.

Fig.62 – Figura de Gradiente de Temperatura em corte no instante ($t=1500$ s)

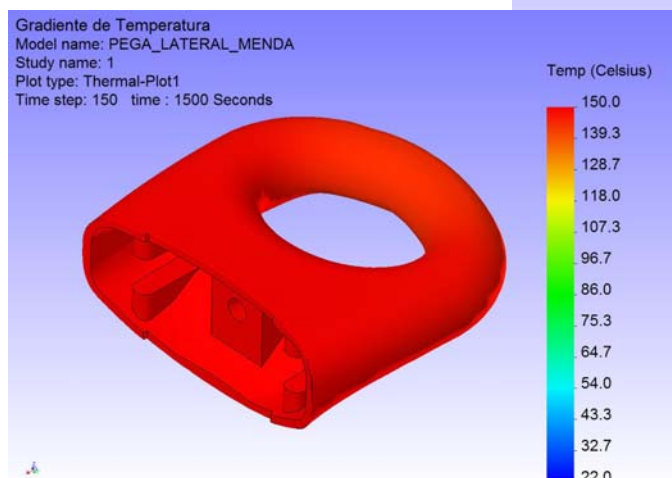
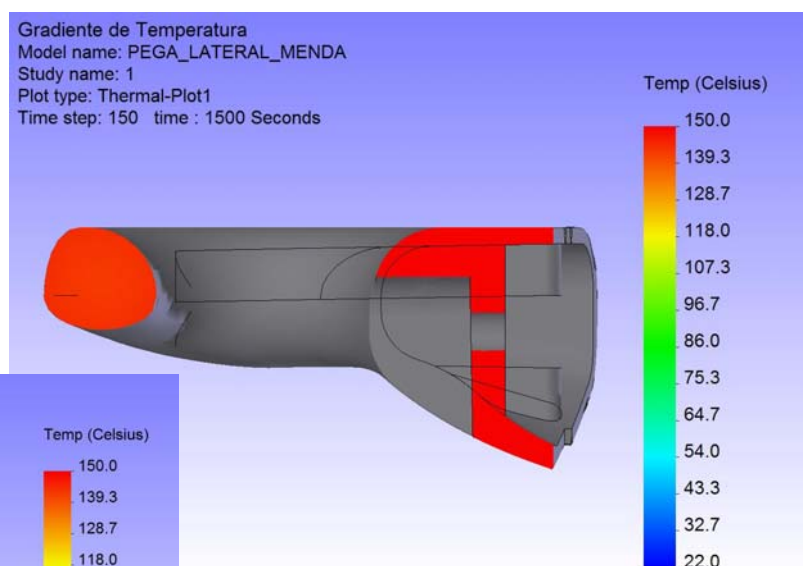


Fig.63 – Figura de Gradiente de Temperatura no instante ($t=1500$ s)

Como ultimas figuras temos o ultimo instante de temperaturas em vista e em corte. Podemos confirmar aquilo que foi referido anteriormente. A temperatura manteve-se constante até o final ($t=3600$ s – 1 hora) quer a nível da superficie da peça, quer a nível da sua espessura.

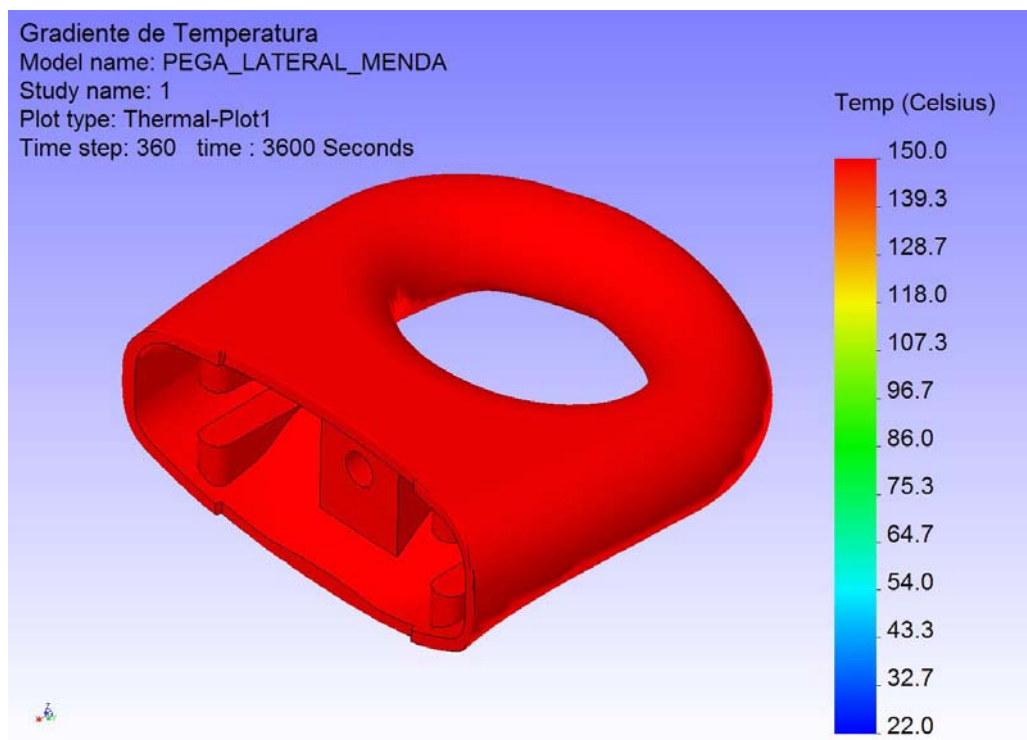


Fig.64 – Figura de Gradiante de Temperatura no instante ($t=3600$ s)

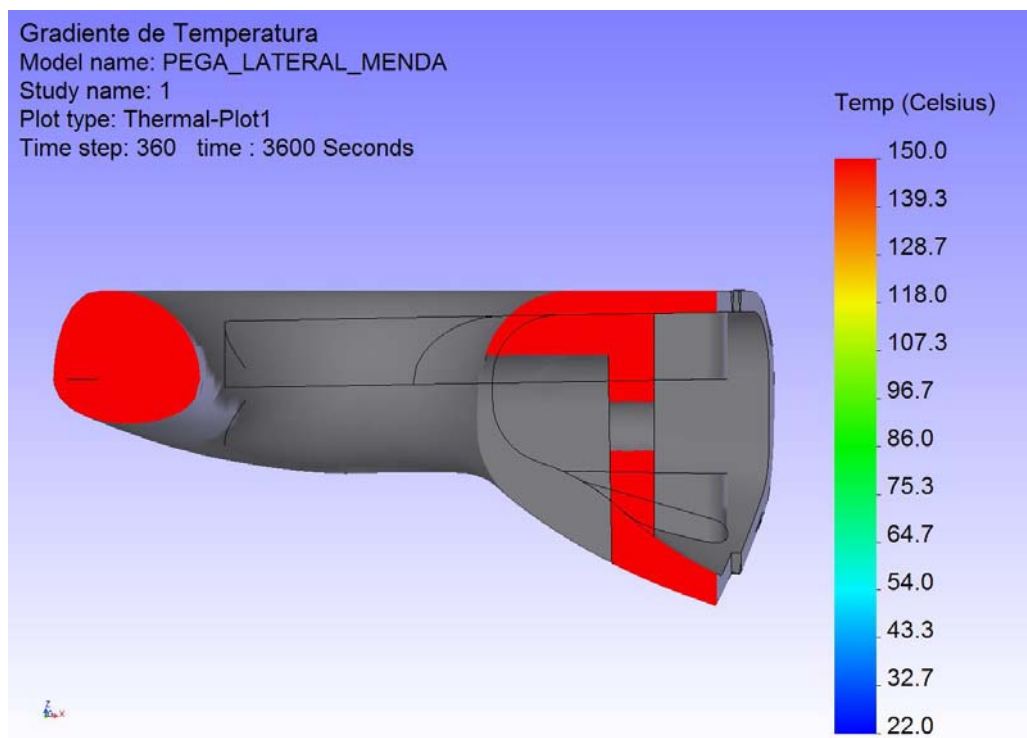


Fig.65 – Figura de Gradiante de Temperatura em corte no instante ($t=3600$ s)

3.3.3.6 Conclusões e/ou reformulação do problema

Ao fim deste estudo podemos tirar as seguintes conclusões:

- O processo de transferência de calor na peça segundo as condições estabelecidas estabiliza ao fim de aproximadamente 10 minutos.
- O Material a colocar no interior e no exterior terá que obrigatoriamente resistir a uma temperatura mínima de funcionamento de 150°C, de forma a cumprir o ensaio em causa.

3.3.4 Estudos reológicos do processo co-injecção

Antes de efectuar os ensaios de co-injecção na máquina propriamente dita, foi necessário simular o enchimento do processo de co-injecção em software de simulação MOLDFLOW. As simulações permitiram visualizar algumas variáveis intervenientes no processo assim como ter a percepção das percentagens da matéria prima A e de matéria prima B. Foram efectuadas várias simulações das quais encontra-se em anexo a informação da simulação com os parâmetros mais adequados. A primeira simulação foi efectuada com 75% de material A e restante material B e a segunda simulação foi efectuada com 85% do material A e restante do B. A informação revelantes da simulação efectuada com 75% do material e restante do material B encontra-se no anexo VII.

Este Cálculo reológico é resultado de cálculos teóricos, baseados em algoritmos de elementos finitos, que em alguns casos poderá advir resultados diferentes da realidade. Para este cálculos teóricos, são consideradas condições de processamento ideais.

Estes cálculos não levam em conta determinadas considerações práticas (não previsíveis) tais como diferenças geométricas, variações de espessura na parede, dinâmica do molde, não uniformidade de temperaturas no molde.

Estes parâmetros e outros (externos ao cálculo) devem ser sempre considerados aquando da análise, validação e revisão dos resultados. A validação dos resultados será sempre da responsabilidade da pessoa que tem conhecimentos a nível de processamento. No entanto, estes resultados podem fornecer importantes informações acerca do processo e do material aquando do processamento na máquina e no molde.

Informação do Material

Material A = Material B

Commercial name:	LEXAN 124R (GE Plastics)
Mould temperature range:	80 – 120 °C
Melt temperature range:	260 – 300 °C
Absolute maximum melts temperature:	300 °C
Ejection temperature:	125 °C
Maximum shear stress:	0.5 MPa
Maximum shear rate:	4 0000 1/s
Melt density:	1.0603 g/cm ³
Solid density:	1.1916 g/cm ³

Detalhes do Modelo :

O modelo de elementos finitos que representa o modelo real é mostrado na figura abaixo. Embora o molde tenha quatro cavidades optou-se por simular uma injeção directa na peça com um molde de 1 só cavidade, ignorando as perdas de pressão nos canais.

A figura mostra a peça após a operação de criação de malha.

Comprimento da malha:1mm

Tolerância junção IGES:0,01 mm

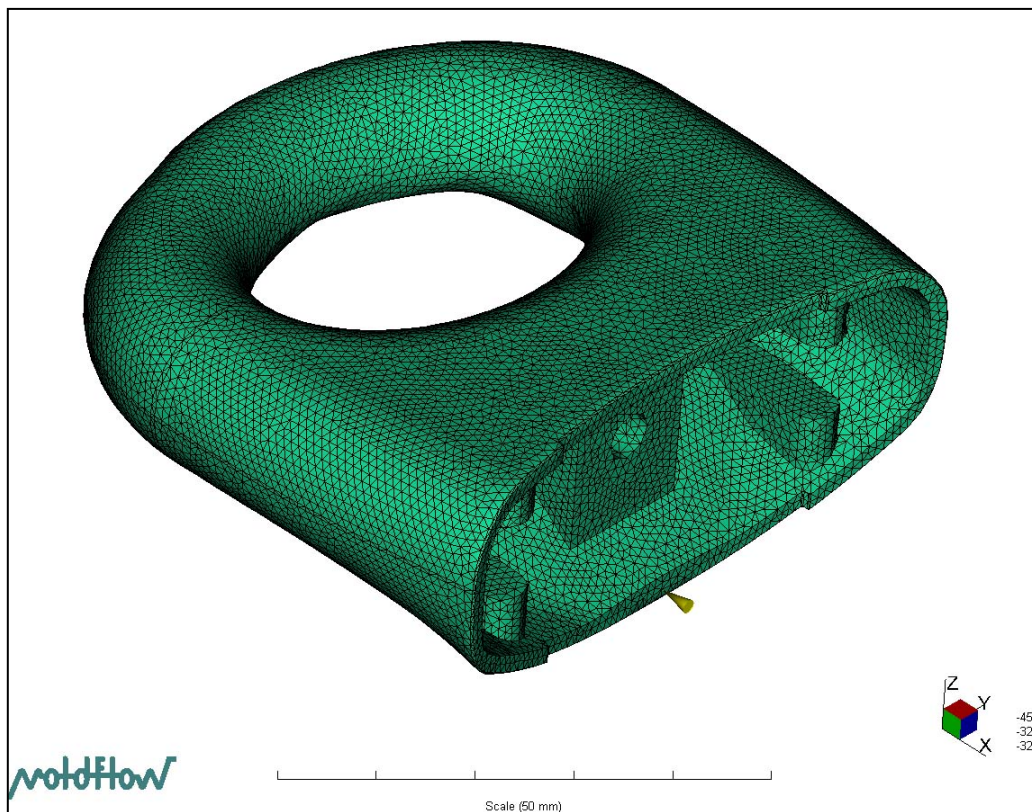


Fig.66 – Figura de Malha gerada a partir de modelo 3D

5.1.2.3. Conclusões (ver figuras)

Neste item encontram-se as conclusões do estudo reológico efectuado na ferramenta informática CAE (*Computer Aided Engineering*) MOLFLOW PLASTICS INSIGHT para o processo de co-injecção. O material utilizado, já foi referido anteriormente e é o PC – LEXAN 124R (GE Plastics) e a percentagem de material utilizado foi de 75% do material A e o restante do material B.

De referir que o ponto de injeção não foi otimizado e situa-se na zona fina da peça do lado interior. Visto que o molde onde se iria executar os ensaios já estava executado, e o ponto de injeção se encontra definido, não houve optimização com simulações do ponto de injeção. Obviamente que provavelmente o ponto de injeção não será o mais correcto, para o processo de co-injecção. Será necessário, em trabalhos futuros efectuar esse estudo, assim como o estudo de geometria da peça (espessuras).

Como se observa nas figuras em baixo nas figuras o enchimento processa-se

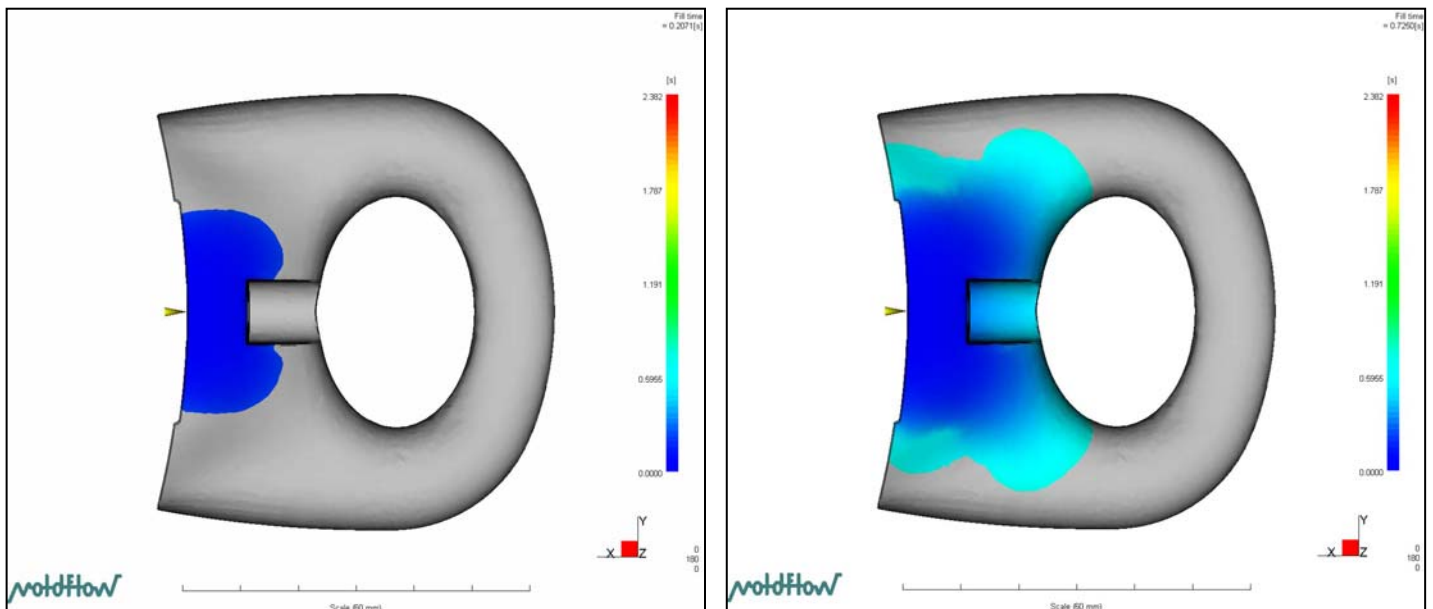


Fig.67- Diagramas de enchimento – Evolução da Frente do fundido em função do tempo

As figuras representam a simulação do tempo de enchimento (Frente do fundido em função do tempo). O tempo de enchimento é cerca de 2.4 s para esta peça. De salientar 2 zonas (a vermelho na figura 68) que devido a 2 frisos interiores, demorará mais tempo a encher do que as zonas vizinhas. De salientar ainda que devido ao local onde se encontra o ataque, irá surgir uma linha de união de material central que poderá originar fragilidade mecânica e mau aspecto visual.

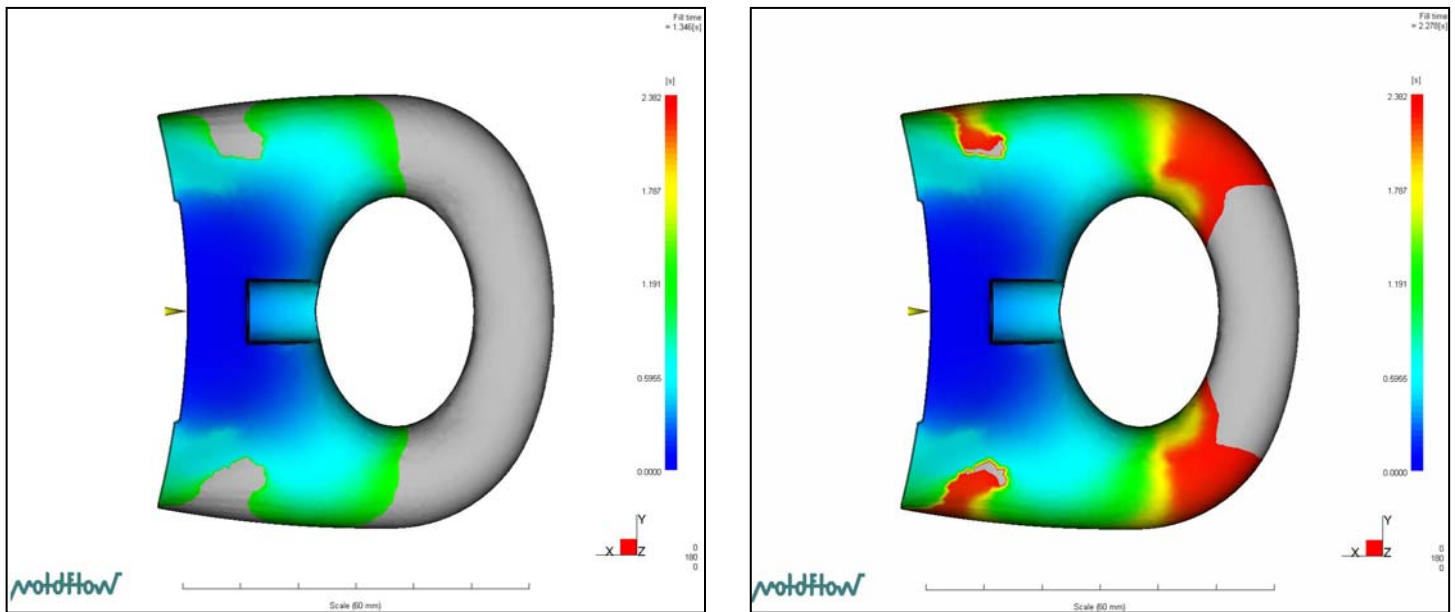


Fig.68 - Diagramas de enchimento – Evolução da Frente do fundido em função do tempo

Os resultados do estudo reológico encontram-se no anexo VII.

Em baixo encontra-se o diagrama de enchimento, assim como o diagrama de pressão ao longo da peça.

Basicamente, e em suma, este estudo reológico foi importante para se ter uma ideia de como, para esta geometria e para este molde (ataque), o processo se iria comportar. Conseguiu-se com isso ter uma primeira ideia das percentagens de material A e de material B e que zonas iriam ser problemáticas no enchimento.

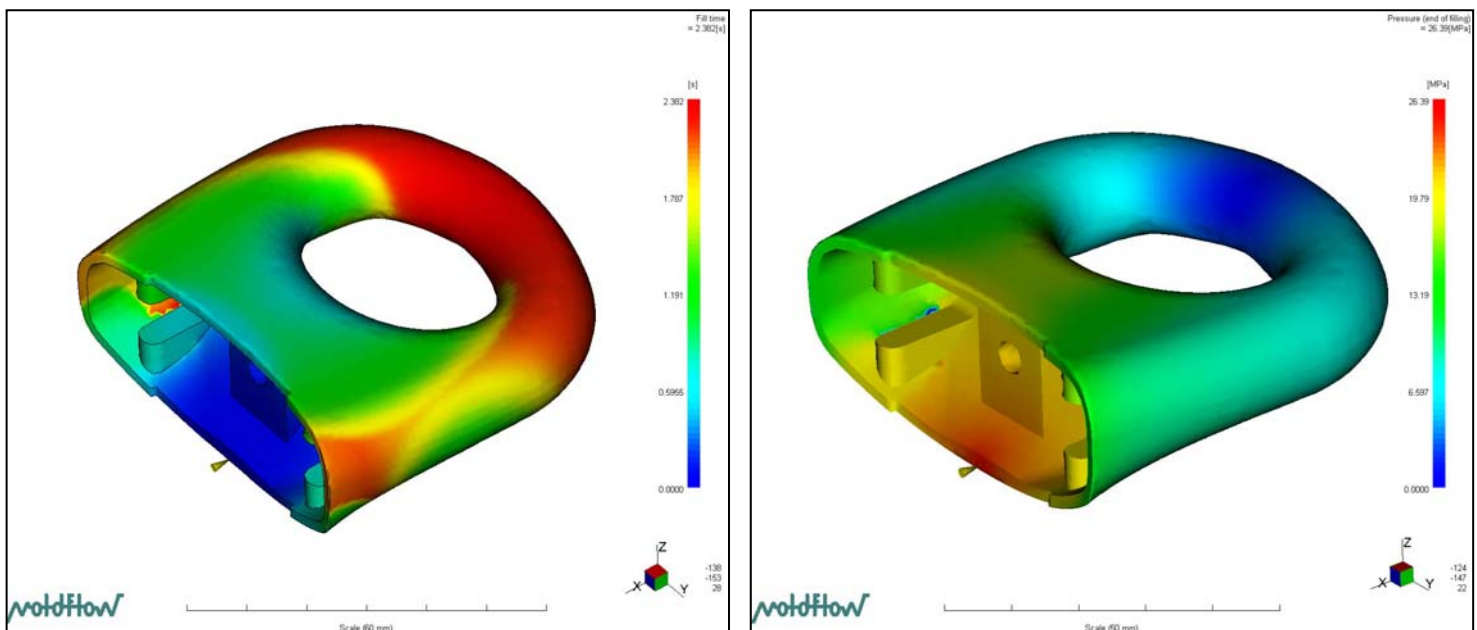


Fig.68 e 69 - Diagramas de enchimento – Tempo de enchimento e Diagramas de Pressão

A figura em baixo mostra a distribuição do polímero A (exterior) e do polímero B (interior). Este gráfico mostra-nos se o material interior (material B) ultrapassou o material A (exterior) na sua espessura durante o processo de injeção.

Como o objectivo é o de estabelecer uma espessura do material A (exterior) no material B (interior) sem que o material B passe o material A. A obtenção de uma espessura mais ou menos constante é imperiosa, visto que é essa espessura que vai servir de barreira no teste de chama.

Como se pode observar na figura o material B (interior), não ultrapassa o material A (exterior), ficando na parte exterior da peça só material A (cor vermelha) e no interior só material B (cor azul).

Neste gráfico, analisa-se unicamente se o material B (interior) passa o material A (exterior) na sua espessura. Mais à frente analisa-se a distribuição percentual dessa mesma espessura do polímero A (material exterior).

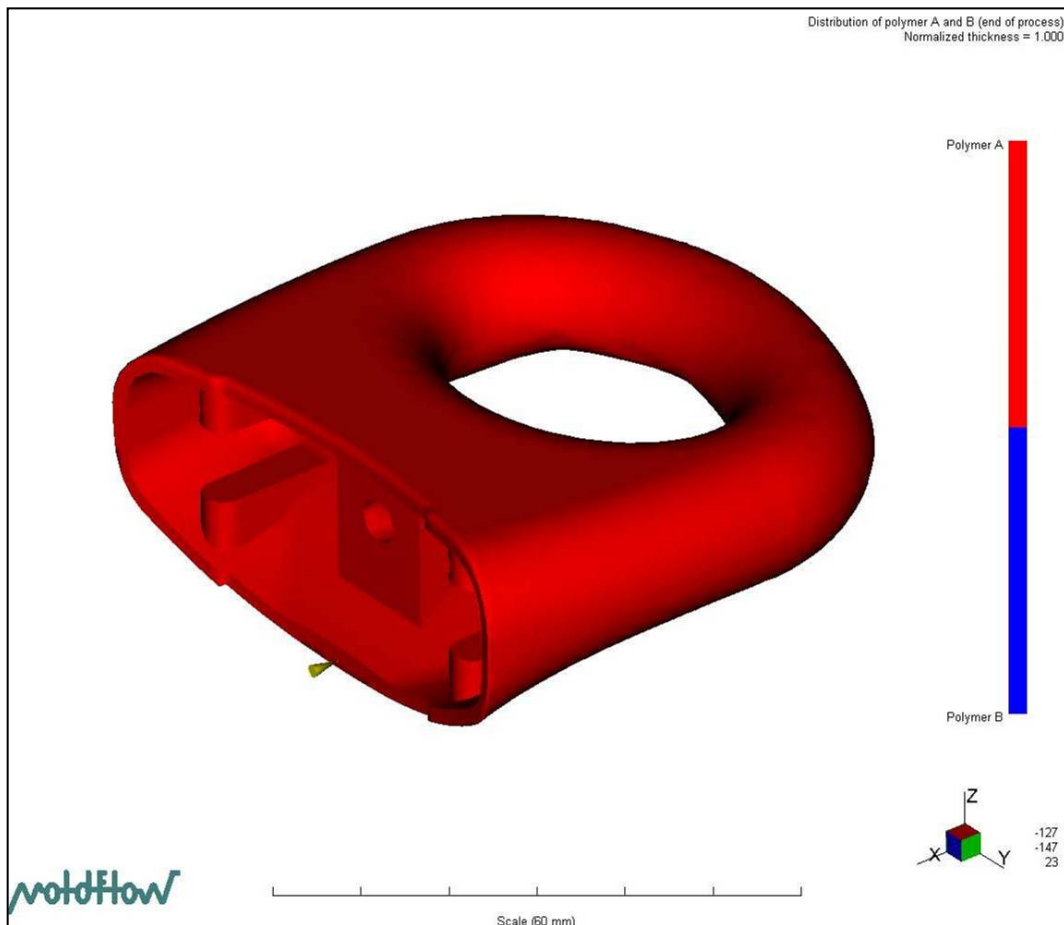


Fig.70 - Diagrama de distribuição do polímero A no polímero B

A figura em baixo mostra a fracção de espessura do polímero B(material interior).Como seria de esperar, a zona onde se encontra o ponto de injeção, será a zona que contém maior percentagem do material B(interior), visto ser a última a encher (à volta de 90%). Na maior parte das zonas finas e uniformes temos só material A (material exterior) – espessura total.Em algumas zonas de transição da parte fina para a parte espessa da peça, a fracção de espessura de material B é de cerca de 50%.Este resultado é esperado e como se vai observar nos ensaios de injeção, visto que a peça tem duas zonas bem diferentes em termos de espessuras, na zona espessa, após a zona fina , o material A embora mantenha a espessura vai misturar-se, não se obtendo uma uniformidade de espessura de material A e B. Como foi referido anteriormente, se no futuro se pretender obter peças injectadas por este processo (co-injecção), a geometria da peça, assim como a forma de injeção (ponto de injeção), terá que ser repensada.

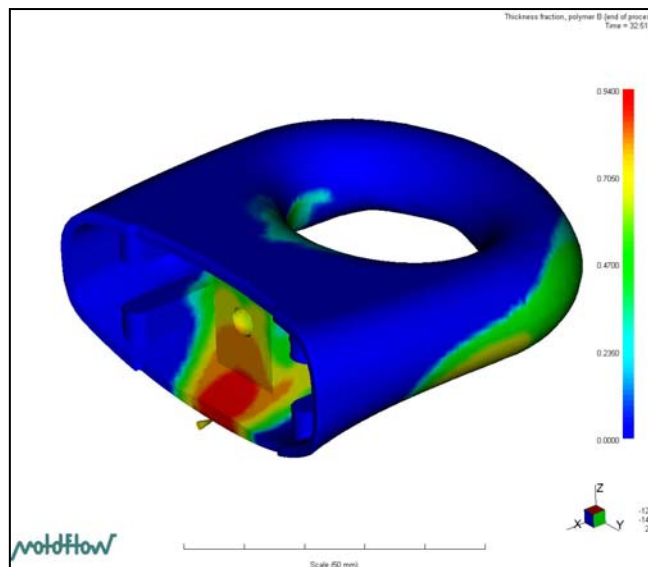


Fig.71 - Diagrama percentual de distribuição do polímero B

A figura em baixo, mostra as possíveis linhas de união de material. As uniões de material podem causar defeitos estruturais e visuais. Se forem em zonas críticas da peça, podem colocar em causa o próprio funcionamento da mesma. Neste caso chama-se a atenção para a linha de união central na zona espessa da peça. Sendo assim, e numa primeira análise, os ensaios de injeção por computador dão-nos informações úteis para os ensaios. Informações de previsão de percentagens do material A e material B a utilizar. Previsões de fracções de espessuras a obter e possíveis problemas no processo de injeção.

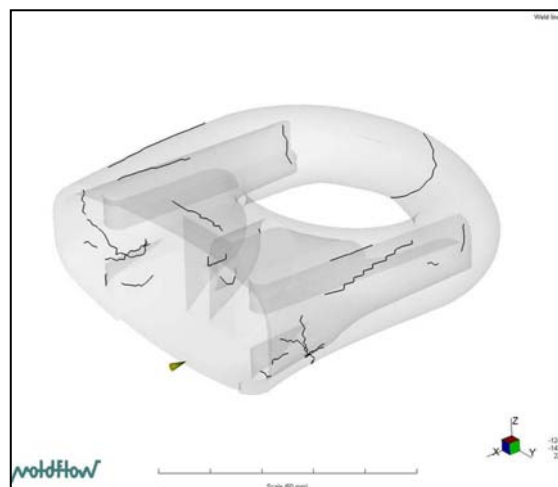


Fig.72 - Diagrama percentual de distribuição do polímero B

3.3.5 Realização de ensaios de co-injecção

Após a realização de simulações térmicas e de enchimento através de software de elementos finitos, passou-se a uma fase de ensaio de injecção. Esta fase foi muito importante, visto que permitiu tirar conclusões sobre o processo de co-injecção e fazermos comparações entre as simulações em computador e a realidade, assim como sabermos a redução de custo em peça. Permitiu ainda a obtenção de peças para ensaios térmicos, de chama e mecânicos. Com os ensaios conseguimos ver a distribuição de espessuras e a redução de material possível.

A seguir descreve-se a execução dos ensaios de co-injecção e respectivas conclusões.

Os ensaios previstos eram os seguintes:

1ºEnsaio – Injecção “sandwich” ou “mono-sandwich” com material exterior Polietermida e o material interior Poliamida.

A ideia seria ter um material no exterior que resiste a chama (V0) e à temperatura ($T=150^{\circ}\text{C}$) e um material no interior que resiste a temperatura ($T=150^{\circ}\text{C}$) e que não necessita de resistir a chama directa. Inclusive colocar material Poliamida reciclada, visto que o material de dentro terá só como função o preenchimento de material. Ao colocarmos material reciclado ou material que não necessita de resistir à chama, estamos à partida a reduzir o custo em matéria prima por kilo em pelo menos 50%.

2ºEnsaio – Injecção “sandwich” ou “mono-sandwich” com material exterior Policarbonato e o Interior Poliamida.

A ideia seria a mesma que no 1ºensaio, mas com materiais com custos inferiores, a substituir a polietermida (PEI), teríamos um policarbonato com resistência à chama. Esta solução seria mais em conta e teria a possibilidade de vermos a distribuição de espessuras, através da transparência do policarbonato.

3ºEnsaio – Injecção “sandwich” ou “mono-sandwich” com material exterior Poliamida e o Interior Poliamida reciclada.

A ideia neste ensaio seria ou de termos o mesmo material, sendo o interior material reciclado, economizando uma parte.

Este ensaio seria o mais complicado de análise de distribuição de espessuras, visto que quer a poliamida natural, quer a poliamida reciclada não podia ser pigmentada. A cor que se encontrava era o preto.

Resultados dos Ensaios Realizados:

Inicialmente preveu-se um conjunto de ensaios que foi relatado atrás. Após o 1ºEnsaio, esse programa de ensaios foi revisto, devido aos resultados desse mesmo ensaio e face aos materiais que estavam disponiveis para ensaio.

De seguida descreve-se os ensaios efectuados e os seus resultados.

1ªEnsaio:

Data:17/03/2004

Materiais :

Material A – Polietermida (PEI) – ULTEM 1000F

Material B – Poliamida 66 (PA 66) – TECHNYL A

Processo – Co-injecção tipo “sandwich”

As variáveis de processo encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 22 – Tabela de parâmetros de ensaio para co-injecção PEI/PA

RELATÓRIO DE ENSAIO - REGISTO DE PARAMETROS					
Nº Teste	1	Data:	17-03-2004		
Refª Molde	Asa Lateral Simple				
Nº de Cavidades	2	Tempo Total Ensaio	3 Horas		
Dados Máquina e Material:					
Máquina	MILACRON FERROMATIC				
Força de Fecho	85 TON				
Diâmetro do Fuso	Ø 50 mm				
Ref.Material A	ULTEM 1000F(PEI)		Ref.Material B	TECHNYL A (PA)	
Cor Material A	Natural		Cor Material B	Natural	
Tempo de Estufa Mat. A	5 Horas		Tempo Estufa Mat.B	5 Horas	
Temperatura Estufa	150°C		Temp.Estufa Mat.B	150°C	
Temperatura Molde	Cavidade	22°C			
	Macho	22°C			
	Elementos Móveis	22°C			
Temperatura Plast.Mat A	z1	60°C	Temp.Plast Mat B	z1	35°C
	z2	180°C		z2	185°C
	z3	330°C		z3	250°C
	z4	370°C		z4	270°C
	z5	380°C		z5	280°C
	z6	-		z6	
	Bico	390°C		Bico	290°C
Parâmetros de Injecção:					
1ª Pressão	90 bar	t1	10 s	V1	30 mm/s
2ª Pressão	70 bar	t2	2,5 s	V2	20 cm³/s
3ª Pressão	30 bar	t3	15 s	V3	20 cm³/s
Arrefecimento	50 s				
Contra-Pressão	Bico 1	5 bar	Bico 2	0 bar	
Veloc.Fuso	Bico 1	100 rpm	Bico 2	100 rpm	
Diâmetro do fuso	Bico 1	45 mm	Bico 2	45 mm	
Almofada	-				
Sucção	-				
Dosagem (mm)	Bico 1	100 mm			
Ciclo Total	30 s				

Resultados:

Os resultados obtidos neste ensaio foram refletir efeitos na realização dos restantes ensaios. Neste ensaio não conseguimos injectar peças “boas”. Devido ao processo de injeção (ver capítulo anterior) a gama de temperaturas no bico ou na zona de regulação da comutação do material A para o material B ter de ser similar, os materiais A e B ao terem pontos de fusão muito dispares ocorrem 2 fenómenos:

- No caso de regularmos a zona do bico ou a zona da permuta do material A para o B , para 370°C (Temp.Fusão da Polietermida) , conseguimos injectar a Polietermida, mas degradamos a Poliamida (Temp.Fusão da Poliamida de 290°C), não conseguindo a introdução da Poliamida no interior da Polietermida.

- No caso de regularmos a zona do bico ou a zona da permuta do material A para o B, para 290°C (Temp.Fusão 290°C), conseguimos injectar a poliamida, mas não conseguimos injectar a Polietermida, visto que esta se encontra muito fria – solidificada.(Temp. Fusão de 370°C).

Como conclusão podemos afirmar que no processo de co-injecção “mono-sandwich” e “sandwich”, as temperaturas de fusão do material devem ser na mesma gama. Não sendo assim corre-se o risco de degradar um material ou solidificar o outro.

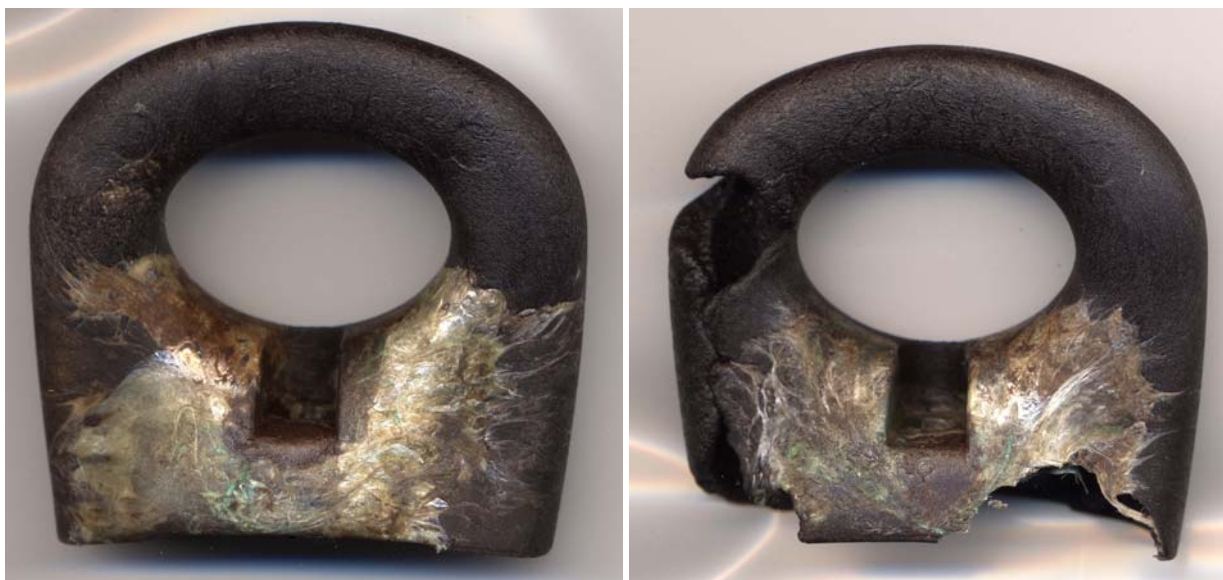


Fig.73 – Peças com poliamida degradada e Polietermida

Face às conclusões do primeiro ensaio decidiu-se alterar o plano de ensaios e efectuar os ensaios com os 2 materiais da mesma gama de temperaturas de fusão. Assim para que se possa estudar a distribuição de espessuras e ter peças com 2 materiais, decidiu-se por efectuar os seguintes ensaios:

2ºEnsaio:

Policarbonato (LEXAN PC 123R) V0 no exterior natural e Policarbonato (LEXAN PC 123R) HB no interior pigmentado cor azul e cor vermelho. Com este ensaio permitiu visualizar:

- a distribuição de espessuras do material exterior e interior
- Resistência à temperatura e chama
- Possibilidade de redução de custos
- Efeitos estéticos

O ensaio decorreu segundo os seguintes parâmetros de injeção

Data:30/04/2004

Materiais :

Material A – Policarbonato (PC) – LEXAN 123R cor natural

Material B – Policarbonato (PC) – LEXAN 123R cor azul e cor vermelha

Processo – Co-injecção tipo “mono-sandwich”

As variáveis de processo encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 23 – Tabela de parâmetros de ensaio para co-injecção PC/PC

RELATÓRIO DE ENSAIO - REGISTO DE PARAMETROS					
Nº Teste	1	Data:	17-03-2004		
Refª Molde	Asa Lateral Simple				
Nº de Cavidades	2	Tempo Total Ensaio	3 Horas		
Dados Máquina e Material:					
Máquina	MILACRON FERROMATIC				
Força de Fecho	85 TON				
Diâmetro do Fuso	Ø 50 mm				
Ref.Material A	LEXAN(PC) 123R				
Cor Material A	Natural		Ref.Material B	LEXAN(PC) 123R	
Tempo de Estufa Mat. A	5 Horas		Cor Material B	Azul	
Temperatura Estufa	150°C		Tempo Estufa Mat.B	5 Horas	
Temperatura Molde	Cavidade	22°C	Temp.Estufa Mat.B	150°C	
	Macho	22°C			
	Elementos Móveis	22°C			
Temperatura Plast.Mat A	z1	30°C	Temp.Plast Mat B	z1	35°C
	z2	160°C		z2	200°C
	z3	210°C		z3	235°C
	z4	250°C		z4	255°C
	z5	270°C		z5	280°C
	z6	-		z6	
	Bico	280°C		Bico	290°C
Parâmetros de Injecção:					
1ª Pressão	90 bar	t1	10 s	V1	30 mm/s
2ª Pressão	70 bar	t2	2,5 s	V2	20 cm³/s
3ª Pressão	30 bar	t3	15 s	V3	20 cm³/s
Arrefecimento	50 s				
Contra-Pressão	Bico 1	5 bar	Bico 2	0 bar	
Veloc.Fuso	Bico 1	100 rpm	Bico 2	100 rpm	
Diâmetro do fuso	Bico 1	45 mm	Bico 2	45 mm	
Almofada	-				
Sucção	-				
Dosagem (mm)	Bico 1	100 mm	Bico 2	150 mm	
Ciclo Total	30 s				

Análise de Resultados:

Segundo as amostras e como podemos constatar nas figuras abaixo, neste ensaio conseguimos injectar peças “boas”, de acordo com o esperado. Após a injeção das primeiras peças procedemos a pequenos ajustamentos a fim de melhorar a distribuição de espessuras, assim como ver em termos de percentagem do material A e material B até onde podíamos ir.



Fig.74 – Figura de Peça injectada segundo processo co-injecção (PC(V0)/PC(HB))

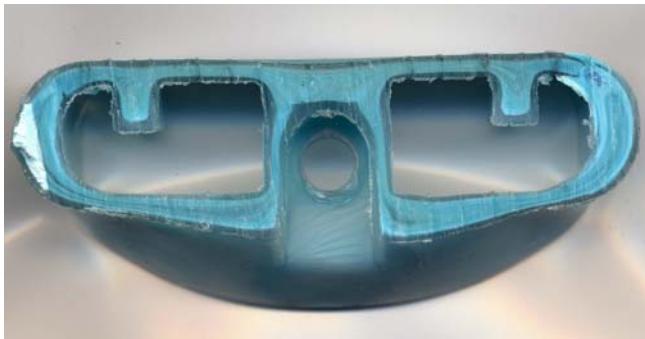
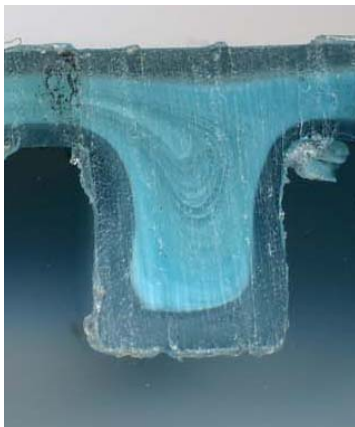


Fig.75 – Figura de peça em corte co-injectada – Aspectos de uniformidade de espessuras



De acordo com as figuras conseguimos observar que a distribuição do material A e material B é uniforme à excepção dos cantos. A espessura do material exterior é aproximadamente de 1 a 1.5 mm. Visto que o material em causa (PC) tem classificação V0 a 1,5mm, no teste de chama não iremos ter problemas.

Fig.76 – Figura de peça em corte co-injectada – Análise de espessura dos 2 materiais

De referir que ao falarmos de co-injecção e ao falarmos de injecção de termoplásticos estamos a falar de processos de processamento diferentes de injecção de termoendurecíveis.

Obviamente que os ensaios de injecção, foram efectuados em moldes de injecção de termoendurecíveis que não são 100% adequados para a injecção de termoplásticos e de co-injecção. De qualquer forma permitiu ver se seria possível obter peças e quantificar mais ou menos a redução de material.

De referir e como podemos observar na figura abaixo, a geometria da peça teria de ser reformulada para o processo de co-injecção. Visto que a peça contempla espessuras muito diferentes, seria necessário homogenizar as espessuras, reduzindo na zona A. Como podemos observar nessa mesma zona o material exterior não formou uma película tão uniforme como nas zonas finas (ver figura..), assim como se gastou muito material no interior. Provavelmente, poderíamos recorrer à injecção com gás, para homogenizar as espessuras nesta zona. Convém dizer que a geometria da peça em causa não é própria e que os ensaios de injecção serviram para obtermos alguns resultados da ideia proposta. De qualquer forma seria imperioso rever a geometria da peça, assim como moldes adequados para a injecção de termoplásticos e de co-injecção.

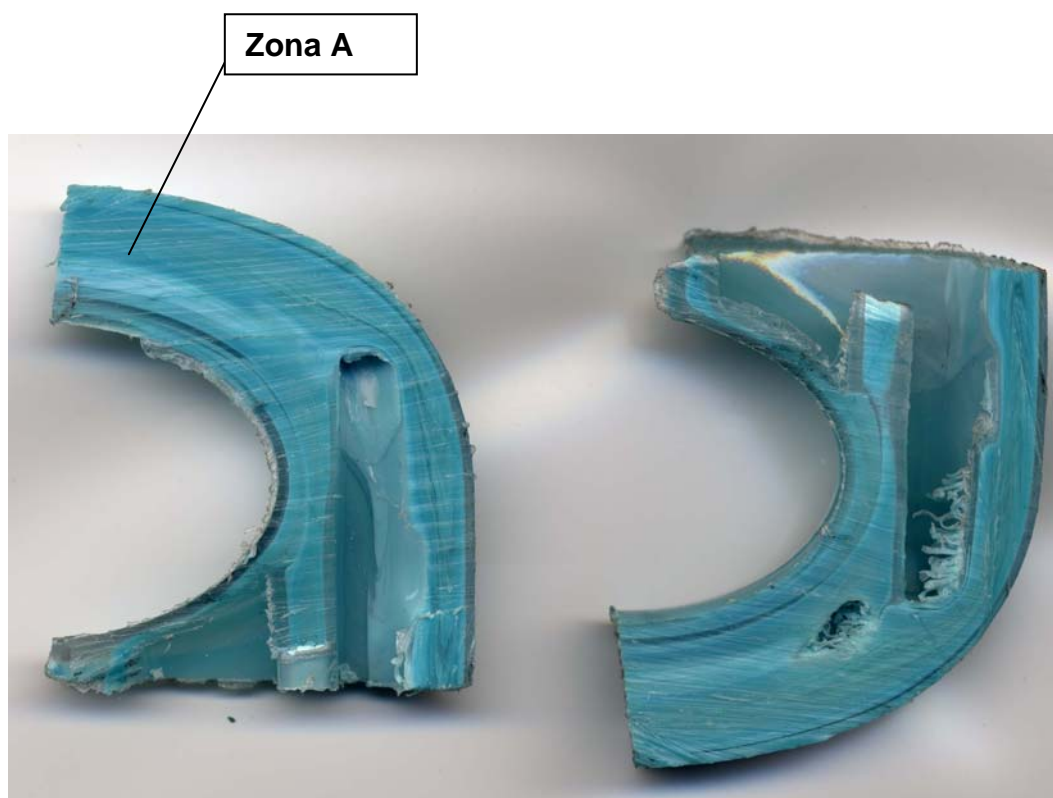


Fig.77 – Figura de peças em corte injectadas pelo processo de co-injecção – relevância da zona A

3.3.6 Cálculo de Custos co-Injecção

De seguida efectuou-se o custo de peça do processo de co-injecção. como podemos observar nas figuras em baixo efectuou-se o cálculo de custos a partir dos parâmetros registados e de dados de custo de estrutura fornecidos pela empresa.

Asa Lateral Simple
Peso=48g
Gitos=2g

Percentagens de Materiais:

Material A: PC Makrolon 6265R V0 – 67% - 32,16g

Material B: PC Lexan 123R –33% - 15,84 g

A percentagem de material é obtida a partir do peso total da peça e da quantidade de material A e material B presente no fuso da máquina. De referir que o jito também se encontra calculado percentualmente.

Nas Tabelas abaixo efectua-se o cálculo de custo de material A e material B gasto. O custo de material por peça será o custo de material A mais o custo de material B por peça.

The figure displays two side-by-side screenshots of a software interface titled 'Material Cost by Weight'. Both interfaces have a header with radio buttons for 'volume', 'weight' (selected), and 'of part and runner'. Below the header, there are input fields for 'Set units' (English, Metric, Custom), 'Part weight', 'Runner weight', 'Scrap/reject rate', 'Max. regrind allowance', and 'Targeted part production'. The left interface shows values for Material A: Part weight 15.84g, Runner weight 0.66g, Scrap/reject rate 1%, Max. regrind allowance 0%, Targeted part production 250000 parts, Total material required 4041.67kg, Material cost \$7 per kg, and Material cost per part \$0.11. The right interface shows values for Material B: Part weight 32.16g, Runner weight 1.34g, Scrap/reject rate 1%, Max. regrind allowance 0%, Targeted part production 250000 parts, Total material required 8205.81kg, Material cost \$10 per kg, and Material cost per part \$0.33. Both interfaces have 'Calculate' buttons.

Fig.78 – Figura de cálculo de custo de material por peça para o material A e para o material B.

Taxa de Rejeição -1%

Reaproveitamento – 0%

Custo Material/Kg – PC MAKROLON 6265 V0 – 10€/Kg

Custo Material/Kg – PC LEXAN 123R HB – 7€/Kg

Custo Material por Peça = Custo Material A por Peça + Custo Material B por Peça

Para o PC MAKROLON 6265 V0/PC LEXAN 123R HB:

Custo Material por Peça = 0.11 + 0.33 = 0.44€

No quadro em baixo efectua-se o cálculo de custos de co-injecção PC MAKROLON 6265 V0 / PC LEXAN 123R, para os vectores Molde, Máquina pós-processamento. A estes custos por peça adicionamos o custo de material por peça que é o somatório do custo de material A por peça com o custo de material B por peça. (Tabelas acima).

C-MOLD Cost Cruncher

Note: The (\$) symbol represents international currency.

Calculate material cost by ☐ volume or ☒ weight of part and runner

Material Cost by Weight

Set units: ☐ English ☒ Metric ☐ Custom

Part weight: g

Runner weight: g per parts

Scrap/reject rate: %

Max. regrind allowance: % of total shot volume

Targeted part production: parts

Total material required: 0.0 kg

Material cost: \$ per kg

Material cost per part: \$ 0.0

Mold Cost

Mold cost: \$ 22500

Number of parts per mold life cycle: 250000 parts

Mold maintenance: \$ 1000 per 250000 parts

Mold cost per part: \$ 0.09

Machine Cost

Cycle time: 42 sec(s)

Cavities per mold: 4

Machine rate per hour: \$ 40

Setup cost: \$ 80 per 50000 parts

Downtime: 5 %

Machine cost per part: \$ 0.12

Post-Molding Cost

Finishing: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts	Assembly: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts
Other secondary operations: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts	Packaging: \$ <input type="text"/> 0.01 per <input type="text"/> parts
Shipping: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts	Overhead: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts
Other: \$ <input type="text"/> per <input type="text"/> parts	Post-molding cost per part: \$ <input type="text"/> 0.01 <input type="button" value="Calculate"/>

Part-Cost Summary

Total cost per part: \$ 0.19

Cost-Breakdown

Material: \$ <input type="text"/> 0.0	0.0 %	Mold: \$ <input type="text"/> 0.09	47.4 %
Machine: \$ <input type="text"/> 0.09	47.4 %	Post-molding: \$ <input type="text"/> 0.01	5.3 %
Total: \$ <input type="text"/> 0.19		100 %	

Profit: %

Targeted part production: parts

Price quote: \$ 0.19 per part

\$ 0.0 per production

C-MOLD Cost Cruncher
Copyright (c) 1998 Advanced CAE Technology, Inc.
All rights reserved

Fig.79 – Figura de cálculo de custos de molde,máquina e pós processamento por peça para o material A e material B.

$$\text{Custo Total Peça} = \text{Custo Material por Peça} + \text{Custo Máquina/Peça} + \text{Custo Molde/Peça} + \text{Custo Pós/Processamento por peça}$$

Para o PC MAKROLON 6265 V0/PC LEXAN 123R HB:

$$\text{Custo Total Peça} = 0.44 + 0.09 + 0.09 + 0.01 = 0.63\text{€}$$

3.3.7 Comparativo de custos Injecção Convencional vs Co-Injecção

Como anteriormente referimos e era objectivo, ao reduzirmos o custo de material por peça, neste caso através de técnicas de injeção não convencionais, vamos reduzir o custo total de peça, permitindo o custo total se situe em valores mais admissíveis.

As tabelas e gráfico em baixo reflectem o cálculo de custos de co-injecção e de injeção convencional. Fazem ainda referência à diferença de custo em cada vector de cálculo, assim como a redução de custo total.

Tabela 24 – Tabela de análise de afectação de custos segundo processo de injeção convencional

Análise de Afectação de Custos	PF31	PA c/30% FV	Polietermida	MF2500	PBT	PC6555
Material	31,90%	71,0%	88,4%	49,2%	71,0%	85,3%
Máquina	42,60%	12,9%	6,9%	31,7%	12,9%	7,7%
Molde	19,10%	14,5%	4,2%	14,3%	14,5%	6,3%
Acabamento	6,40%	1,6%	0,5%	4,8%	1,6%	0,7%

Tabela 25 – Tabela de análise de afectação de custos segundo processo de co-injecção

Análise de Afectação de Custos	PC(V0)/PC(HB)	PA(V0)/PA(HB)	Diferenças	
			PC	PA
Material	66,67%	38,89%	-18,63%	-32,11%
Máquina	18,18%	33,33%	10,48%	20,43%
Molde	13,64%	25,00%	7,34%	10,50%
Acabamento	1,52%	2,78%	0,82%	1,18%
Redução Custo Total			-0,77 €	-0,26 €
			-53,85%	-41,94%

No caso mais significativo que é o da Poliamida a redução de material chega aos 32%. A redução do custo total de peça é mais significativo no Policarbonato, visto que o custo de materia prima também é mais elevado, e no custo da poliamida, vamos ter um acréscimo maior no processo (aumento de 20.43%).

O gráfico abaixo representa a comparação de valores de custo total de peça em tecnologia de injeção convencional e em co-injecção para os materiais referidos.

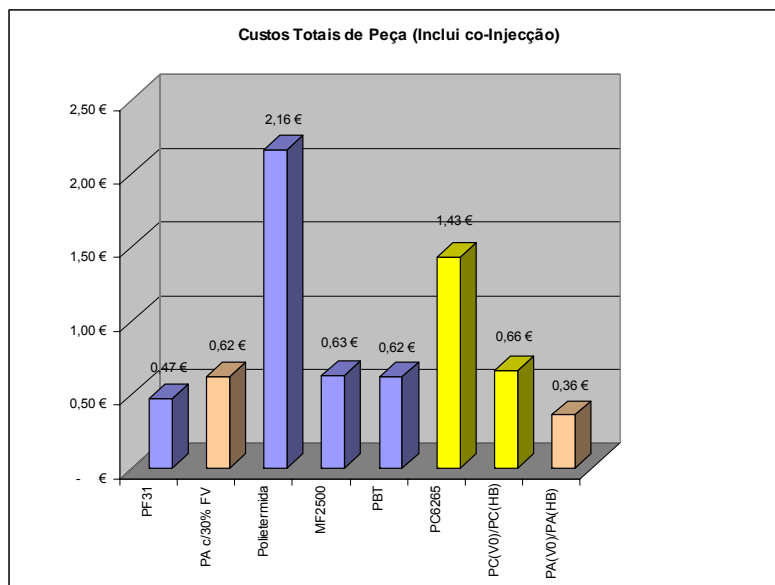


Fig.80 – Gráfico comparativo de Custos de Peça Injecção Convencional vs co-Injecção

Com a tecnologia de co-injecção, vamos obter custos de peças já em valores competitivos face aos materiais existentes. (PAV0/PAHB-0.36€ - PF31-0.47€)
 Como podemos observar nos gráficos, que traduzem esquematicamente os dados da tabela, a co-injecção veio trazer uma redução de custo de material, quer no Policarbonato, quer na Poliamida.

Resumidamente, podemos dizer que aquilo que se esperava se concretizou. Ao aumentar o custo de processamento em detrimento da redução de material, iria ter um efeito benéfico no custo total de peça.

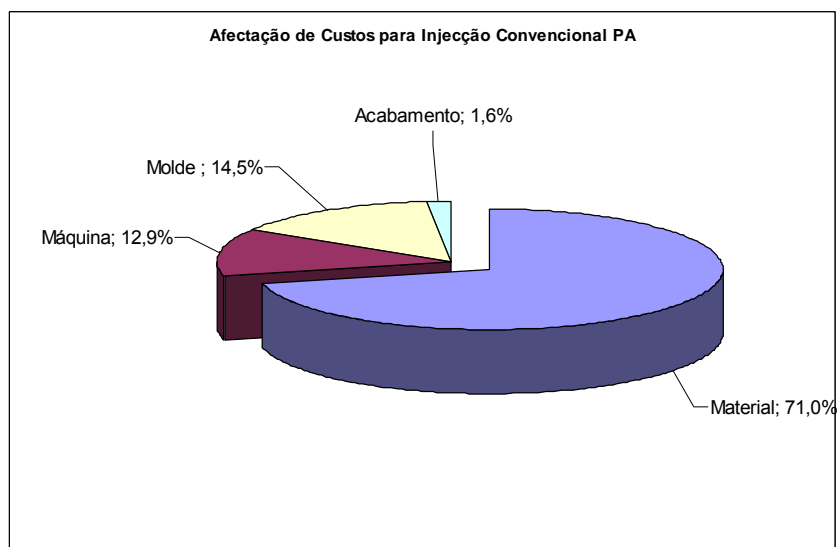


Fig.81 – Gráfico de Afectação de Custos para Injecção convencional – material PA(V0)/PA(HB)

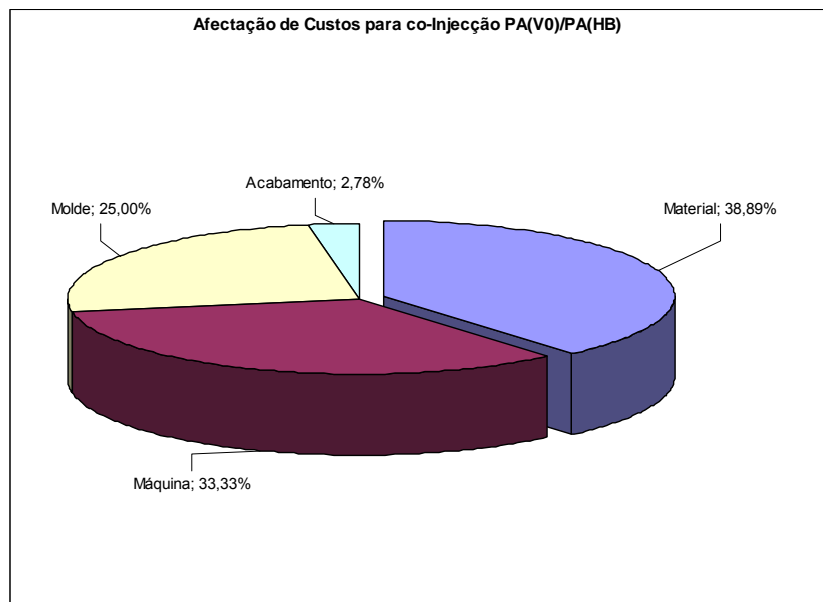


Fig.82 – Gráfico de Afectação de Custos para co-injecção – material PA(V0)/PA(HB)

3.4 Aplicação de tecnologias de injeção não-convencionais com o intuito de redução de custo de peça – Injecção assistida por gás.

No fundo segue o mesmo princípio que a primeira ideia, mas utiliza o gás para retirar material do interior da peça. De referir que o mesmo cuidado quanto às espessuras mínimas deve ser tido em conta.

Efectuaram-se simulações na ferramenta MOLDFLOW com o módulo de injeção assistida com gás, para cálculo de espessuras e parametros de processo. Esta simulação permitiu-nos simular o processo determinando as variáveis em jogos, entre elas a quantidade de redução de material .

A moldação com gás beneficia da característica típica da injeção, a formação da camada de material solidificado (provocada pelo arrefecimento junto as paredes moldantes) no interior da qual flui o material subsequente. Esta camada é utilizada para conduzir um fluido que pressuriza uniformemente a moldação pelo interior e acelera o processo de arrefecimento.

O gás (tipicamente azoto) é injectado no interior do massa fundida durante ou imediatamente a seguir à fase de enchimento. Seguem-se as fases de pressurização e arrefecimento que se desenvolvem sob uma pressão uniforme em toda a moldação como resultado da pressão hidrostática gerada pelo fluido. O processo conclui-se com a descompressão da moldação e consequente extracção.

A introdução do gás pode ser efectuada a partir do bico de injeção ou com auxilio de uma ou mais agulhas situadas no molde

O gás pode ser recuperado ou libertado para a atmosfera, dependendo do tipo de equipamento e da contaminação provocada pelo composto polimérico utilizado.

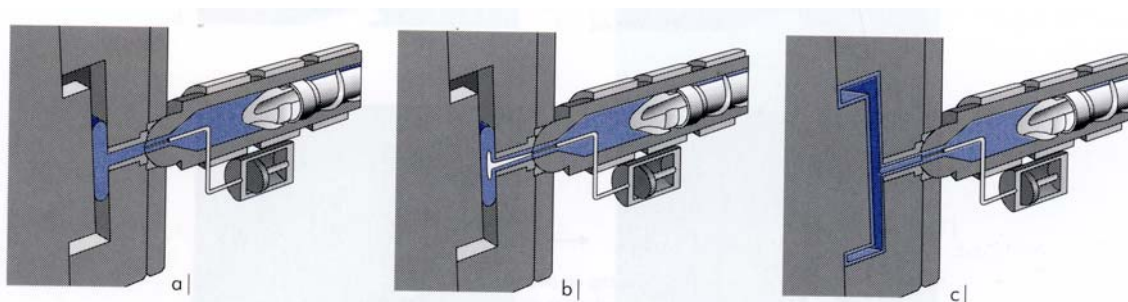


Fig.83 – Figura Ilustrando processo injeção assistida por gás nas várias fases.

- a) Injecção do Fundido
- b) Injecção do gás
- c) Pressurização

Vantagens deste processo (Injecção com gás)

- Economia de material
- Redução do nível de tensões internas
- Excelente acabamento superficial
- Redução da força de fecho e do consumo energético
- Redução do tempo de ciclo (dependendo da geometria em causa)
- Redução de complexidade e custos do molde

Desvantagens deste processo (Injecção com gás)

- Custo de investimento em equipamento específico
- Custo operativo do consumo de gás
- Eventual custo de *royalties* ou licenças
- Maior complexidade do processo

Em baixo mostra-se exemplos de peças em corte e respectiva redução de espessura produzida pela injecção assistida por gás.

Este processo seria o mais indicado para a redução de custo, reduzindo o material. De referir ainda que na geometria em causa (asa), a injecção com gás seria aconselhável, visto a peça ter uma zona bastante espessa. Na injecção de termoplásticos deve-se uniformizar as espessuras prevenindo defeitos tais como “*chupados*” e empenos.

Este processo não foi possível de testar, ficando esse trabalho de testes para o futuro.

O processo de injecção assistida com gás será o processo de injecção não convencional mais indicado para o caso em estudo, visto obter a redução de material pretendida para a redução de custo e evitando problemas de reciclagem aquando da separação dos dois materiais no caso do processo de co-injecção.

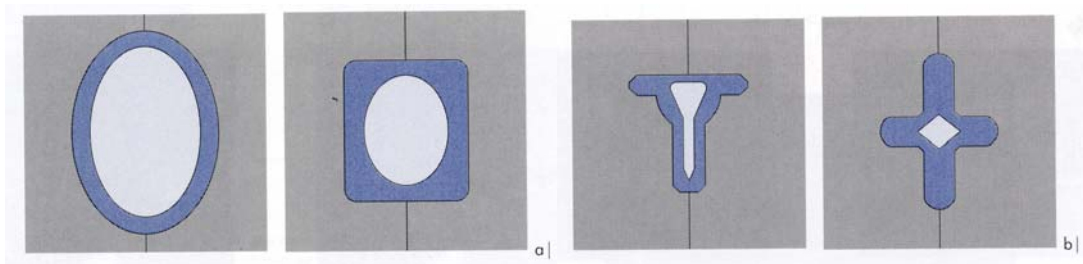


Fig.84 – Figura Ilustrando redução de espessura em processo de injecção assistida por gás

Cap. IV – Conclusões Finais e propostas para estudos futuros

4.1 Conclusões Finais

Após a realização deste trabalho conclui-se que os objectivos na sua globalidade foram cumpridos.

- Elaboração das especificações do projecto ECO-ERGO com sucesso
- Foram seleccionados, ensaiados, testados e validados com sucesso os materiais de acordo com as especificações do projecto ECO-ERGO
- Através do estudo de viabilidade económica conclui-se que existem 2 gamas de materiais aplicáveis em termos de custo de peça:
 - A Gama dos materiais PA,PBT que teriam um nível de custo de peça idêntico aos materiais hoje aplicados não recicláveis (PF31,MF2500)
 - A Gama dos materiais PEI,PC que teriam um nível de custo de peça bastante superior aos materiais hoje aplicados não recicláveis (PF31,MF2500).
- Através do estudo de viabilidade económica e com o intuito de baixar o custo de peça na aplicação da materiais PEI e PC conclui-se que seria conveniente a aplicação de técnicas não convencionais de injeção.
- Após o estudo e realização de ensaios da técnica não convencional de injeção *Sandwich* para a gama de materiais PEI,PC conclui-se que o custo de peça seria menor e ao estaria ao menor nível de custo peça dos materiais actualmente utilizados e não recicláveis.Estes materiais (PEI e PC) têm ainda a característica de serem transparentes o que lhes confere uma mais valia a nível estético do produto final .

4.2 Propostas para Trabalhos futuros

É certo que algumas ideias foram lançadas e devido a factores como o tempo e os recursos disponíveis, não foram desenvolvidas.

Fica aqui algumas propostas de itens a desenvolver nas diversas vertentes que o projecto englobou.

- Realização de estudos de Injecção não convencional tais como injecção com gás, overmolding, injecção soldadura para os materiais referidos, com vista à redução de custo em material. O trabalho de estudo que foi realizado para a co-injecção, ser efectuado para a injecção com gás. (ensaio, validação, cálculo de custos, conclusões)
- Desenvolvimento de novo produto com nova geometria, englobando o novo conceito de produto “verde”, aplicando os materiais e soluções estudadas.
- Análise de Custos ao nível de funções de produto. Estudar o custo de cada função do produto global (Panela de Pressão). Seria importante quantificar o custo/benefício de cada função e de cada componente do nosso produto global (Panela de Pressão)
- Execução de Testes de Durabilidade do produto. São exemplo disso ensaios de máquina de lavar louça, segundo as normas especificadas.
- Desenvolvimento de vertentes a montante e a jusante da montagem de painéis de pressão e dos materiais usados. Um exemplo disso será o desenvolvimento de Linha de Desmontagem de Painéis de Pressão antigas, de forma à reciclagem do produto.